



ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

---

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

**CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA EDILE/ARCHITETTURA**

*DIPARTIMENTO DI ARCHITETTURA E PIANIFICAZIONE TERRITORIALE*

**TESI DI LAUREA**

in

Architettura e Composizione Architettonica 3

# Homeostatic Patterns

Processi biomimetici feedback-based per una  
architettura efficiente nei Prati di Caprara

CANDIDATO  
Corrado Giacobazzi

RELATORE  
Chiar.mo Prof. Ing. Alessio Erioli

CORRELATORI  
Arch. Annarita Ferrante  
Ing. Giovanni Castellazzi

---

Anno Accademico 2010/2011

Sessione III



Un ringraziamento speciale ad Alessio Erioli, il paziente relatore, per la marea di informazioni, riferimenti e consigli che non mi ha mai fatto mancare.

Un grande ringraziamento ai correlatori Giovanni Castellazzi e Annarita Ferrante, dimostratisi sempre pronti ad ricevermi e dispensatori di utili consigli, obiezioni e conferme; grazie anche a Simone Bandini per avermi dedicato il suo tempo e la sua competenza.

Grazie a Stefano Coccia, ad Alessandro Zomparelli, a Mirco Bianchini per il supporto, le risate, la passione.

Grazie a tutta la Grasshopper community per gli strumenti che mettono gratuitamente a disposizione senza i quali questa ricerca non sarebbe potuta esistere: David Rutten (Grasshopper), Giulio Piacentino (Weaverbird),

Daniel Piker (Kangaroo), John Mirtschin (Geometrygym), Thomas Grabner & Ursula Frick aka [uto] (Geco)

Ringrazio di cuore le ditte Protoway S.r.l. e Andreoli S.r.l. per aver accettato la sfida (e averla supportata economicamente) della realizzazione dei prototipi, in entrambi i casi conclusasi con un successo oltre le aspettative.

Grazie a mio fratello Riccardo e a Valentina, per l'aiuto nel momento di maggior difficoltà e la pazienza nei miei confronti. Spero di poter lavorare presto con voi con la scusa di ricambiare il favore.

Per la fiducia in me e l'infinita pazienza ringrazio i miei genitori, mio padre Gabriele e mia madre Roberta che voglio ringraziare due volte per l'entusiasmo con cui è tornata a scartabellare i libri dell'università: una biologa d'eccezione!

Grazie, infine e innanzitutto, a Francesca, per aver reso possibile questo lavoro con la realizzazione di praticamente tutti i prototipi e il supporto nella battitura dei testi, ma soprattutto per avermi dato ogni giorno la serenità necessaria per andare avanti.

Grazie anche a tutti quelli che sto dimenticando in questo momento di tremenda stanchezza, e soddisfazione.

**GRAZIE**

INDICE

0_Abstract .....	04	2.5_Configurazione .....	30
<b>PARTE_1: QUADRO TEORICO</b>		2.5.1_Elaborati descrittivi .....	31
1.1_Introduzione .....	06	2.5.2_Performances .....	36
1.2_[Bio]Logica .....	07	2.5.3_Prototipi .....	39
1.2.1_Premessa: da selezione a simbiosi .....	07	3_Conclusioni e spunti di ricerca .....	40
1.2.2_Architettura e ambiente .....	07	Riferimenti .....	41
1.2.3_Biomimesi .....	08		
1.2.4_Algoritmo .....	08		
1.2.5_Crescita e forma.....	09		
1.3_Implicazioni .....	10		
1.3.1_Multiperformance Optimization .....	10		
1.3.2_Differenziazione e modulazione .....	10		
1.3.3_Ridondanza e sicurezza .....	11		
1.4_Metodo .....	12		
1.4.1_Da progetto a processo .....	12		
1.4.2_Form Finding .....	12		
1.4.3_Simulazione real time e processo generativo .....	13		
1.4.4_CNC e futuro della produzione .....	13		
<b>PARTE_2: UN CASO SPECIFICO</b>			
2.1_Tema .....	15		
2.2_Inquadramento e contestualizzazione .....	15		
2.2.1_Bologna e i Prati di Caprara .....	15		
2.2.2_Analisi del sito .....	16		
2.3_Strategie .....	21		
2.4_Processo .....	22		
2.4.1_Elaborazione programma .....	22		
2.4.2_Generazione della superficie .....	26		
2.4.3_Generazione della membrana .....	27		

## ABSTRACT

Gli organismi biologici mostrano ricorrenti dinamiche di auto-organizzazione nei processi morfogenetici che sono alla base di come la materia acquisisce gerarchia e organizzazione. L'omeostasi è la condizione con la quale un corpo raggiunge il proprio equilibrio (termico, pressione, ecc.); un processo attraverso il quale questi sistemi stabilizzano le reazioni fisiologiche.

Una delle caratteristiche fondamentali esibite da tali organismi è la capacità della materia di instaurare processi di auto-organizzazione, responsabile dei processi di ottimizzazione che guidano all'uso efficiente dell'energia nella lotta per la sopravvivenza. Questa ottimizzazione non mira al raggiungimento di un risultato globale deterministico e "chiuso" (precedentemente stabilito e poi perseguito ad ogni costo), quanto piuttosto al raggiungimento di un'efficienza di processi locali con obiettivi multipli e necessità divergenti; tali processi interagiscono organizzando sistemi nei quali proprietà peculiari uniche emergono dalle interazioni descritte. Le esigenze divergenti non sono negoziate sulla base di un principio di esclusività (una esigenza esclude o elimina le altre) ma da un principio di prevalenza, dove le necessità non prevalenti non cessano di esistere ma si modificano in funzione di quelle prevalenti (il proprio campo di espressione è vincolato dai percorsi tracciati in quello delle esigenze prevalenti).

In questa tesi si descrive un'applicazione ad uno specifico caso di studio di progettazione architettonica: un parco con spazi polifunzionali nella città di Bologna. L'obiettivo principale del progetto Homeostatic Pattern è quello di dimostrare come questo tipo di processi possano essere osservati, compresi e traslati in architettura: come per gli organismi biologici, in questo progetto gli scambi di materia ed energia (stabilità, respirazione, porosità alla luce) sono regolati da sistemi integrati efficienti piuttosto che da raggruppamenti di elementi mono-ottimizzati. Una specifica pipeline di software è stata costituita allo scopo di collegare in modo bidirezionale e senza soluzione di continuità un software di progettazione parametrica generativa (Grasshopper®) con software di analisi strutturale ed ambientale (GSA Oasys®, Autodesk® Ecotect® analysis), riconducendo i dati nella stessa struttura attraverso cicli di feedback. Il sistema così ottenuto mostra caratteristiche sia a scala macroscopica, come la possibilità di utilizzo della superficie esterna che permette anche un'estensione dell'area verde (grazie alla continuità della membrana), sia alla scala del componente, come la propria capacità di negoziare, tra le altre, la radiazione solare e la modulazione della luce, così come la raccolta capillare delle acque meteoriche. Un sistema multiperformante che come tale non persegue l'ottimizzazione di una singola proprietà ma un miglioramento complessivo per una maggiore efficienza.

## ABSTRACT

Biological organisms exhibit typical self-regulatory dynamics for morphogenetic processes that lie behind the way matter acquires hierarchy and organization. Homeostasis is the condition by which a body reaches its balance (thermal, pressure, etc.); a process through which those systems stabilize physiological reactions.

One of the fundamental traits exhibited by such organisms is matter's capacity of self-organization processes, which is responsible for the optimization processes that guide efficient use of energy in the survival arms race. Such optimization is not about reaching a deterministic global "closed" goal (one that is first envisioned and then pursued at all costs), rather it is aimed to achieve efficiency of local processes which have multiple goals and divergent demands; those processes interact forming systems which peculiar unique properties emerge from the aforementioned interactions. Divergent demands are not negotiated by an exclusivity principle (one demands excludes or kills the others) but by a prevalence principle, where non-prevalent demands do not cease to exist but modify themselves serving the prevailing ones (their domain of expression is constrained by the paths traced in the prevailing demand's one). In this paper we present a specific case study application in architectural design: a multi-purpose park in Bologna. The main goal of the Homeostatic pattern project

is to demonstrate how such processes can be observed, understood and translated in architecture: as in biological organisms, in this project matter and energy exchanges (stability, respiration, porosity to light) are regulated by integrated efficient systems rather than assemblies of mono-optimized elements. A custom software pipeline was built in order to seamlessly and bidirectionally connect a parametric, generative design software (Grasshopper®) with software for structural and environmental analysis (GSA Oasys®, Autodesk® Ecotect® analysis), rewiring feedback data into the structure itself. The system achieved so far exhibits characteristics at its macroscopical scale, such as the usability of its top surface that also extends the green area (thanks to membrane continuity) as well as others at the scale of the component such as its ability to negotiate, among others, solar radiation and light modulation, as well as capillar gathering of rainwater. A multiperformance system as such does not pursue the optimization of a single property but an overall improvement for major efficiency.

*Omeostasi (dal Greco hómoios, "simile" e stásis, "stabilità") è la proprietà di un sistema che regola il proprio ambiente interno e tende a mantenere una condizione stabile e costante di caratteristiche come la temperatura o il Ph. Tale sistema può essere aperto o chiuso. (Wikipedia)*

*Omeostasi: uno stato di equilibrio, come in un organismo o in una cellula, mantenuto da processi di auto-regolazione. (The American Heritage® dictionary of the English Language)*

*I pattern sono sequenze nello spazio e nel tempo attraverso le quali è registrata un'informazione. (Co-de-iT, in[form]ation - lecture)*

*Homeostasis (from Greek: hómoios, "similar" and stásis, "standing still") is the property of a system that regulates its internal environment and tends to maintain a stable, constant condition of properties like temperature or pH. It can be either an open or closed system. (Wikipedia)*

*Homeostasis: a state of equilibrium, as in an organism or cell, maintained by self-regulating processes. (The American Heritage® dictionary of the English Language)*

*Patterns are sequences in space and time through which information is recorded. (Co-de-iT, in[form]ation - lecture)*

*I patterns sono schemi, regolarità che si riscontrano nello spazio-tempo. In natura sono sempre il risultato emergente di processi di interazione tra algoritmi di crescita e le forze esogene all'organismo (Erioli, 2009)*

## 1.1\_INTRODUZIONE

In un mondo sempre più consapevole delle reali criticità dei modelli di sviluppo dominanti, inadeguati alla risoluzione delle problematiche più impellenti a livello globale come la crisi energetica o l'inquinamento, si rende necessario un cambio dei paradigmi consolidati. Per procedere in questa direzione, in Architettura come in qualsiasi altro ambito, occorre ripensare l'approccio all'attività di progettazione con una maggiore capacità di sfruttare le informazioni e le tecniche messe a disposizione, in maniera sempre più approfondita e accessibile, dalla ricerca scientifica. Lo spazio in cui viviamo, infatti, si rivela un gradiente di dati in continua evoluzione e cambiamento, monitorabile in ogni sua caratteristica proprio grazie alle conoscenze ed agli strumenti oggi alla portata di tutti i progettisti. Il processo progettuale può così essere informato con flussi di dati accurati, variabili nello spazio e nel tempo, ottenendo possibilità di integrazione con l'ambiente e le sue dinamiche senza precedenti. Una direzione di ricerca percorribile, affrontata in questo studio, è quella di prendere spunto dai processi di organizzazione della materia messi in opera

dagli organismi biologici per la risoluzione di problemi spesso, anche se non necessariamente, simili ai nostri. Il potenziale di creatività esprimibile è massimo e finalmente libero dall'individuazione di concept, metafore o qualsiasi assunto formale e può dedicarsi alla ricerca di specifiche soluzioni agli specifici problemi che emergono da questa lettura del mondo circostante. Le fonti di ispirazione sono infinite e sono colte in un'ottica interdisciplinare, sciogliendo i confini di campi come la matematica, la chimica, la biologia o l'informatica a favore di una totale contaminazione.

Da questa convinzione nasce Homeostatic Patterns, un progetto, o meglio un processo progettuale, elaborato affrontando la necessità di fare architettura innanzitutto come un problema biologico: la generazione di un'interfaccia tra uomo e ambiente tesa all'ottenimento di un habitat adatto, necessariamente integrato negli ecosistemi di cui facciamo parte e da cui dipende la nostra sopravvivenza.

### Intensive and Extensive differences

*In their book 'Atlas of Novel Tectonics' the architects Reiser and Umemoto, point out the necessity of a new perception of a matter and energy relationship, one where the architecture plays a significant role in becoming the mediator between the environment and material expression. They argue for an architecture that is not literally animate, but an architecture that 'its substance, its scale, its transitions and measurement will be marked by the dilations and contractions of the energy field.' The primacy of architecture consequently becomes not the 'myth and interpretation' but the 'material and formal specificity'.*

*By enhancing the primacy of materiality therefore, architecture needs to answer questions of form, functionality and performance not as an 'illustration or allegory' or as a visual effect but more as an effect to the spatial perception and experience having both physiological implications as well as psychological ones.*

*This approach is eventually shifting the primary question of architectural design from what it means to what it does, and how it affects spatial, structural, performative and/ or perceptual qualities.*

*[...] Another argument that R+U raise is that 'the new model' of architecture 'must be understood as an interplay between intensive and extensive differences'. Intensive differences can be conceived as gradients, properties of matter that are indivisible, such as weight, elasticity, pressure, heat, density, colour', while extensive are the properties that can be measured, and to which geometry plays 'a sovereign role'. The architects conclude that 'allowing the interplay' of both intensive and extensive relationships to operate within the architectural domain is important for 'reconceiving tectonics'. This idea entails the 'shift of geometry as an abstract regulator' to 'the notion that matter and material behaviour must be implicated in geometry itself'.*

(Dumpioti, 2011)

### Differenze Intensive ed Estensive

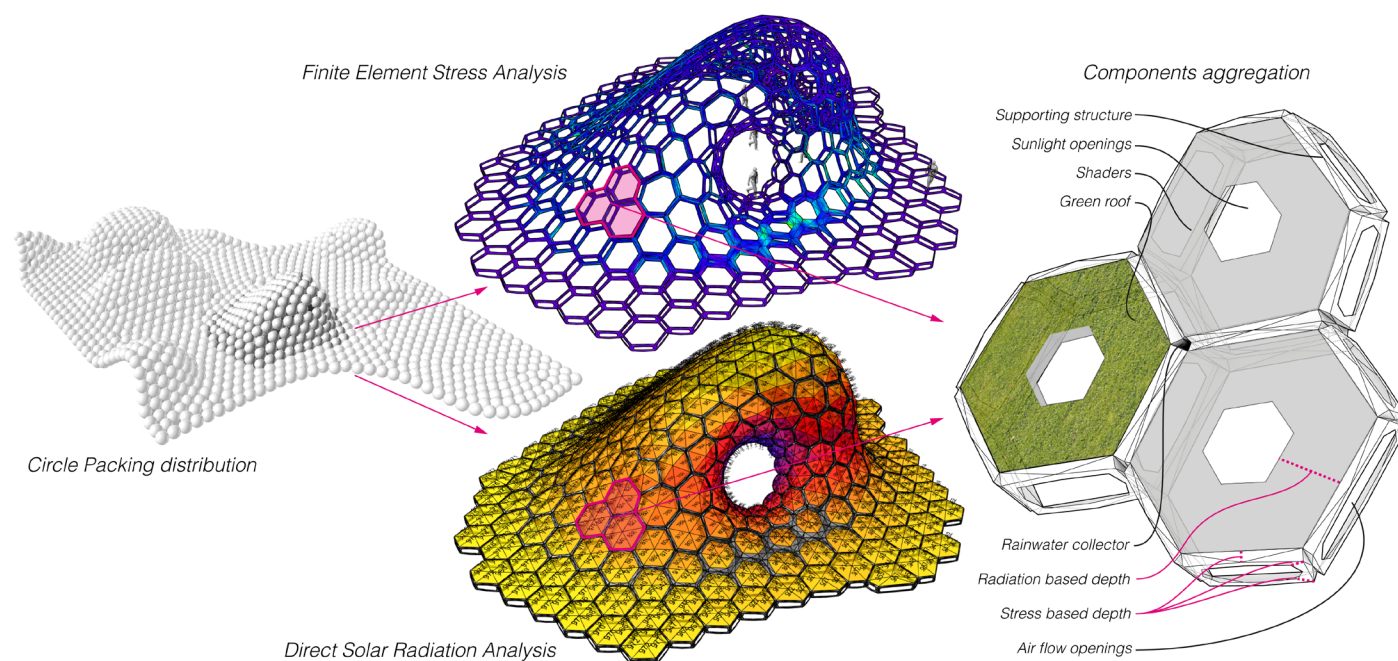
*Nel loro libro "Atlas of Novel Tectonics" gli architetti Reiser e Umemoto illustrano la necessità di una nuova percezione della relazione tra materia ed energia, una in cui l'architettura giochi un ruolo significativo nel diventare il mediatore tra l'espressione dell'ambiente e della materia. Essi argomentano per un'architettura che non sia letteralmente animata, ma un'architettura in cui "la propria sostanza, la propria scala, le proprie transizioni e misure saranno segnate dalle dilatazioni e dalle contrazioni del campo energetico". Lo scopo primo dell'architettura di conseguenza diventa non "il mito e l'interpretazione" ma la "specificità formale e materiale".*

*Esaltando la supremazia della materialità perciò, l'architettura necessita di rispondere alle domande di forma, funzionalità e prestazione non come una "illustrazione o allegoria" o come un effetto visivo ma più come un effetto della percezione spaziale a dell'esperienza avente sia implicazioni fisiologiche così come psicologiche.*

*Questo approccio sta finalmente spostando la questione principale della progettazione architettonica da cosa significhi a cosa faccia, e come ciò influisca sulle qualità strutturali, prestazionali, e/o percettive.*

*[...] Un'altra questione che R+U sollevano è che "il nuovo paradigma" di architettura "deve essere compreso come un'interazione tra differenze intensive ed estensive. Le differenze intensive possono essere viste come gradienti, proprietà della materia che sono inscindibili, come il peso, l'elasticità, la pressione, il calore, la densità, il colore", mentre estensive sono le proprietà che possono essere misurate, e sulle quali la geometria gioca "un ruolo dominante". Gli architetti concludono che "permettere all'interazione" delle relazioni sia intensive che estensive di operare nel campo dell'architettura è importante per "riconcepire le tettoniche". Questa idea implica "il passaggio da geometria come un regolatore astratto" a "la nozione che materia e comportamento materiale devono essere coinvolte nella geometria stessa"*

(Dumpioti, 2011)



1.1\_Schema di alcune fasi del processo progettuale, in cui i flussi di dati provenienti dall'esterno o da simulazioni digitali vengono utilizzati per la generazione di geometrie.



## 1.2\_[BIO]LOGICA

*The altered environmental conditions of today can no longer be mastered with the architectural resources of the past [...] Though architecture today does not fulfill its task, it is nevertheless the only decidedly peaceful profession in which synthetic thinking can be exercised on a large project without hindrance [...] The relationship between biology and building is now in need of clarification due to real and practical exigencies. The problem of environment has never before been such a threat to existence. In effect, it is a biological problem [...] Not only has biology become indispensable for building but building for biology (Otto, 1971: 7-8)*

*Le alterate condizioni ambientali odierne non possono ormai essere dominate con le risorse architettoniche del passato[...] Sebbene l'architettura oggi non possa più svolgere il suo compito, essa rimane comunque l'unica professione decisamente pacifica nella quale il pensiero sintetico può essere esercitato su di un grande progetto senza alcun ostacolo [...] Il rapporto tra biologia e progettazione necessita oggi di una chiarificazione dovuta ad esigenze pratiche e reali. Il problema dell'ambiente non è mai stato una sfida così grande all'esistenza. In effetti si tratta di un problema biologico [...] Non solo la biologia diventa indispensabile per la progettazione ma la progettazione per la biologia. (Otto, 1971: 7-8)*

Queste parole, che risalgono ormai a più di quarant'anni fa, danno un'idea di come alcuni precursori siano riusciti a guardare con una lucidità fuori dal comune ai problemi da sempre presenti nella pratica architettonica come il rapporto con l'ambiente e quindi l'essenza stessa del fare architettura. Oggi, con le conoscenze e gli strumenti accumulati in anni di ricerca e di speculazioni, a che punto siamo? Questa lettura è stata smentita o al contrario confermata? E se fosse confermata, come abbiamo risolto le problematiche affrontate alla luce di questa consapevolezza di fondo?

## 1.2.1\_PREMESSA: DA SELEZIONE A SIMBIOSI

Per rispondere alla prima domanda seguendo la traccia lasciata da precursori come Otto o Gaudì, più che citare teorie portate avanti da esponenti legati alla realtà della produzione architettonica, è utile riferirsi a come oggi venga letta la realtà che ci circonda da parte del mondo

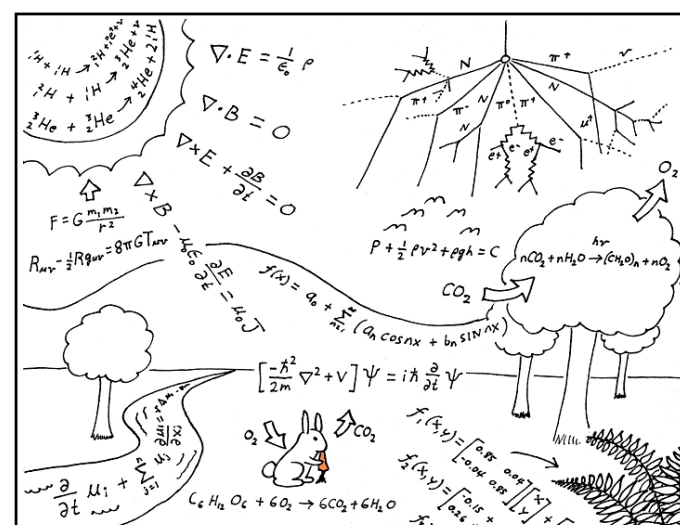
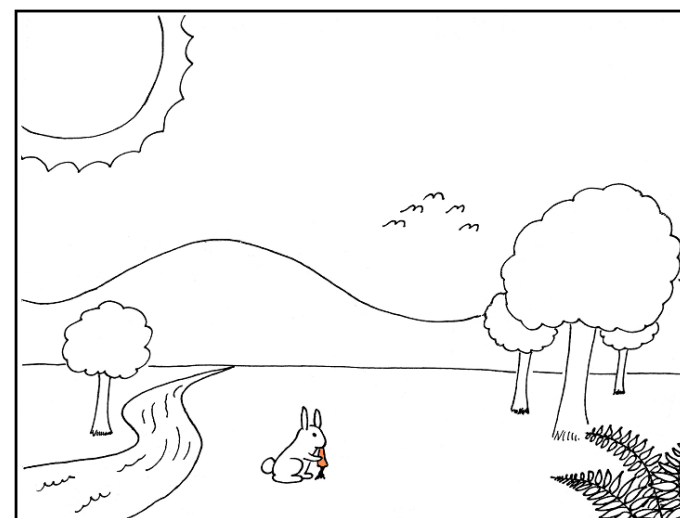
che studia i comportamenti degli organismi viventi, la biologia. In particolare ci si riferisce al grande e innovativo lavoro di ricerca portato avanti, tra gli altri, dalla biologa statunitense Lynn Margulis, che oggi rappresenta una teoria tra le più valide dal punto di vista scientifico e implica in alcuni aspetti fondamentali il superamento della teoria evolutiva di Darwin. La novità, sostanzialmente, è quella di considerare motore principale dell'evoluzione i rapporti simbiotici degli organismi viventi, focalizzando l'attenzione quindi sulle interazioni tra gli organismi e non più sugli organismi presi individualmente. Sull'importanza e il tipo di interazioni che sussistono tra organismo e ambiente, inoltre, già il filosofo Karl Popper si pose in contrasto con la teoria darwiniana e i suoi sostenitori: mentre secondo Darwin era l'organismo che si adattava all'ambiente, per Popper è l'organismo che modifica l'ambiente in relazione a se stesso.

L'evoluzione degli organismi biologici non sembra dunque dovuta ad un processo di adattamento monodirezionale degli organismi all'ambiente ma ad un reciproco adattamento basato su scambi di materia ed energia che portano alla modificazione dell'ambiente da parte dei suddetti organismi. Basti pensare a come la comparsa degli organismi vegetali abbia provocato, grazie al processo di fotosintesi, una sostanziale modificazione dell'ambiente in cui si sono essi stessi evoluti portando alla comparsa dell'atmosfera, ambiente che ha permesso la comparsa e la successiva differenziazione ed evoluzione degli organismi animali sul nostro pianeta. Lo stesso processo è comune a tutte le attività biologiche senza soluzione di continuità nello spazio e nel tempo.

## 1.2.2\_ARCHITETTURA E AMBIENTE

E' di importanza fondamentale riconoscere l'esistenza di tali processi per capire quali nuove dinamiche in questa interazione organismo-ambiente ha portato l'uomo con le sue molteplici attività. L'architettura e le proprie tecnologie produttive sono tra le attività in cui questa interazione con l'ambiente è sicuramente maggiore, essendo gli scambi di materia ed energia di magnitudo preponderante rispetto ad altre attività che non prevedano la trasformazione o il trasporto di grandi masse di materia. Ormai da tempo si conosce il problema del buco dell'ozono e si guarda con timore al surriscaldamento del pianeta cercando prove scientifiche che lo riconducano all'incremento delle attività antropiche (ipotesi ormai condivisa dal 90% dei 1300 esperti del Fourth Assessment Report on Climate Change

del 2007), è quindi doveroso ricordare come molte dinamiche messe in moto e regolate in maniera quasi esclusiva dal vasto campo dell'architettura abbiano una grande responsabilità su questo tema. La cementificazione e il consumo del territorio, l'inquinamento delle nostre città (acustico come atmosferico) sono i segni evidenti di come lo sviluppo della nostra società sia avvenuto, certo non deliberatamente né improvvisamente ma attraverso un lungo e articolato processo dominato prevalentemente da fattori economici, sottostimando la portata delle dinamiche di reciproca interazione e modificazione tra uomo e ambiente citate sopra. Con la fine del secolo scorso si è iniziato a fare considerazioni globali su come questo ambiente si stesse modificando portando ad importanti prese di co-

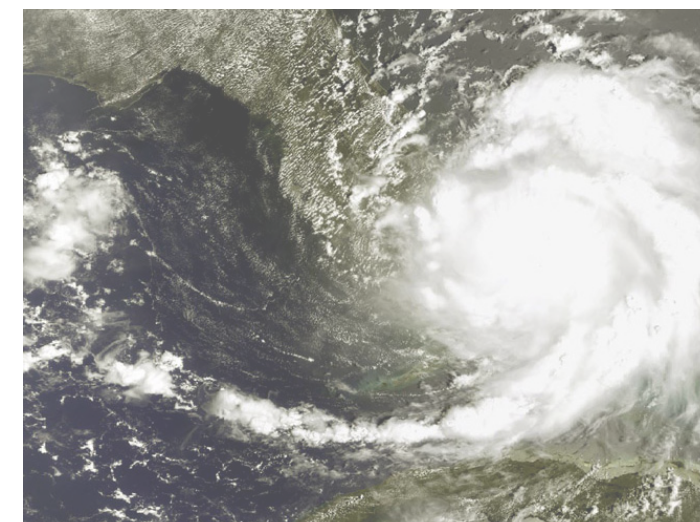


This is how scientists see the world.

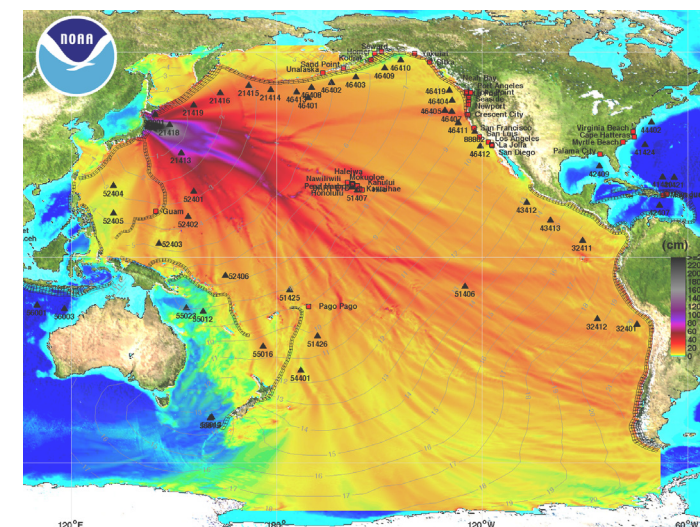
1.2\_Vignetta relativa a "come lo scienziato vede il mondo". Campi intensivi e scambi di materia ed energia sono ovunque

scienza a cui però non sono conseguite scelte strategiche risolutive (basti pensare alla mancata firma da parte degli Stati Uniti al Protocollo di Kyoto o alla incalzante deforestazione di cui è tutt'ora vittima l'amazzonia).

Le teorie sempre più condivise dei sistemi complessi e dell'emergenza ci mostrano come le società siano sistemi complessi formati da un altissimo numero di individui che agiscono secondo specifiche regole di interdipendenza. Sono le dinamiche di tipo bottom-up le responsabili del comportamento globale di questi sistemi ed è questo il motivo principale per cui spesso le scelte strategiche centralizzate non riescono a trovare soluzioni adatte alla portata dei problemi che si presentano. Informazione, educazione, sviluppo di sensibilità in linea con questo



1.3\_Vista dell'uragano Katrina dal satellite MERIS dell'Envisat



1.4\_Grafico relativo all'altezza dello tsunami propagatosi per il Pacifico dopo il terremoto del Giappone del 2011



modo di leggere il mondo e un numero più alto possibile di prove nelle direzioni più diverse possibili possono portare all'instaurarsi di processi che inneschino di una maggiore capacità di integrazione tra noi e l'ambiente.

*New line of research that proceeds from the recognition of architectural constructions not as singular and fixed bodies, but as complex energy and material systems that have a finite lifespan, exist as a part of environment of other active systems, and as one instance of a series that proceeds by evolutionary development. (Hensel, Menges, Weinstock, 2010)*

*Una nuova linea di ricerca che è conseguenza diretta del riconoscimento delle costruzioni architettoniche non come corpi sigolari e fissi, ma come sistemi complessi di energia e materia che hanno una vita limitata, che esistono in quanto parte dell'ambiente di altri sistemi attivi, e come un'istanza di una serie che procede attraverso uno sviluppo evolutivo.*

La convinzione di fondo dell'approccio seguito nel percorso progettuale è che sia proprio questo che viene richiesto a chi fa architettura oggi, e che quando non si facciano sforzi in questa direzione, con tutta probabilità, si sia persa un'occasione.

### 1.2.3\_BIOMIMESI

Una fonte di ispirazione prospera di esempi di come si possano configurare sistemi in grado di generare forme efficienti e' la natura. Gli organismi biologici in particolare sono noti per aver messo a punto in milioni di anni di evoluzione processi di organizzazione della materia estremamente complessi ed efficienti. Una delle dinamiche fondamentali per l'ottenimento di un alto livello di efficienza consiste nel creare sistemi multiperformanti, spesso con un'alta complessità di forma, che siano in grado di gestire e regolare contemporaneamente tutti gli scambi di materia ed energia tra organismo e ambiente. Anche in architettura, approfittando di una tecnologia sempre più avanzata e quindi portatrice di nuove possibilità morfogenetiche ed esplorazioni nel campo delle forme complesse, è possibile mettere a punto sistemi particolarmente efficienti grazie ad un approccio che riesca ad instaurare dinamiche di ottimizzazione multiperformante. In questa direzione, è l'architettura biomimetica il campo di ricerca in cui vengono studiate le proprietà di alcuni organismi ed ingegnerizzata una possibile trasposizione in architettura.

Questa fase di trasposizione è molto delicata: cambiamenti di scala e quindi delle forze in gioco, il riconoscimento

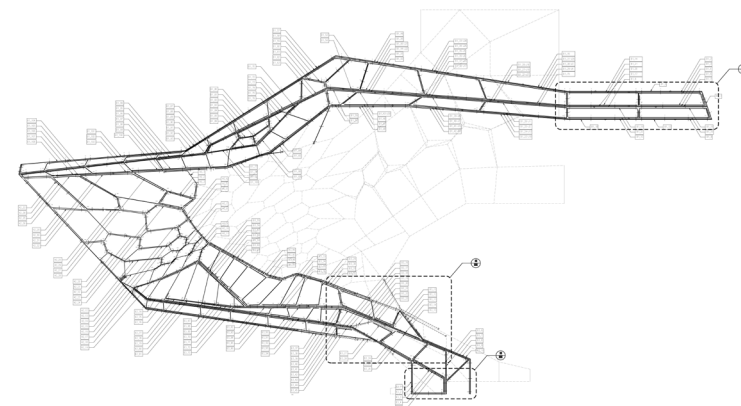
del processo specifico che sottende ad una dinamica, le proprietà del materiale, sono speculazioni che necessitano una sensibilità e conoscenza del mondo biologico che difficilmente fanno parte del background culturale del progettista. Interpretazioni grossolane delle dinamiche naturali non hanno altro risultato che il fallimento della trasposizione, e quindi il mancato raggiungimento delle proprietà ricercate per l'organismo architettonico.

### 1.2.4\_ALGORITMO

*Processes are based upon codes and algorithms; the concept of nature is not in the substance of things but in the relation established among the various elements; this web of relations is the logical structure (form) that shapes things in nature, it is the code, while processes are algorithms based on that code. Operating under this concept requires a deep understanding of biology for its applications by means of appropriate tools, processes and materials in order to define new and more sustainable ecologies between man and environment through architecture. (Erioli, 2009)*

*I processi sono basati su codici e algoritmi; il concetto di natura non è nella sostanza delle cose ma nell'interrelazione stabilita tra i vari elementi; questa rete di relazioni è la struttura logica (form) che dà forma alle cose in natura, è il codice, mentre i processi sono gli algoritmi basati sul codice. Operare a partire da questo concetto richiede una profonda comprensione della biologia per una applicazione consapevole di strumenti, processi e materiali appropriati, al fine di dare vita ad ecologie nuove e più sostenibili tra l'uomo e l'ambiente attraverso l'architettura.*

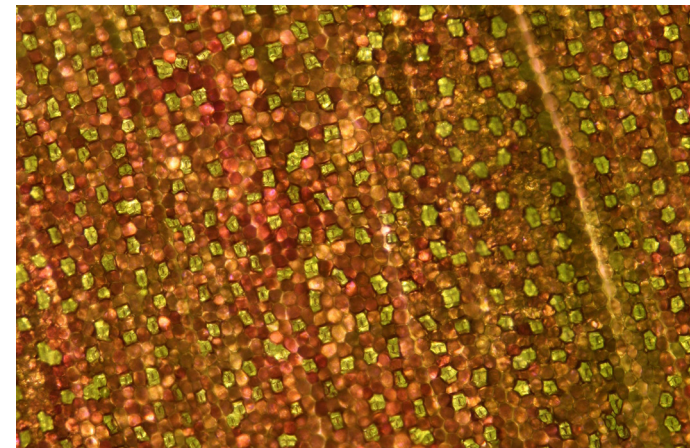
Processo, organizzazione, codice, regola, algoritmo sono



**1.8\_ Dragonfly, Emergent Studio.** Esempio di architettura biomimetica: sono state studiate e trasposte alla scala e al materiale scelti i processi morfogenetici che determinano le proprietà della struttura alare di una libellula



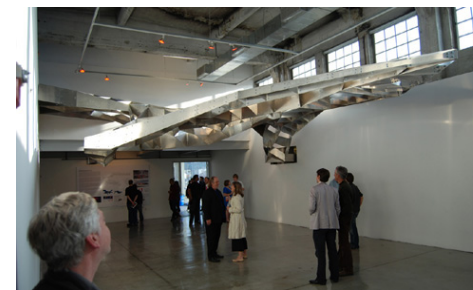
**1.5\_ Ridondanza e algoritmo.** Un sistema ridondante può raggiungere un più alto grado di sicurezza. Gli algoritmi di crescita possono essere estrapolati e riapplicati a varie scale, con risultati spesso non prevedibili ma efficienti se ne viene studiata sufficientemente la trasposizione.



**1.6\_ Controllo locale e mantenimento in stato equilibrio dinamico.** Omeostasi. Regolazione degli scambi di materia ed energia con l'ambiente, efficienza e sicurezza derivano dal controllo locale. In architettura si parla di comfort.



**1.7\_ Differenziazione, multiperformance.** Variazioni nel pattern possono permettere la generazione di qualità differenti in un tessuto nella misura in cui tali caratteristiche siano necessarie o vantaggiose per l'organismo.





i termini alla base di ogni dinamica morfogenetica in natura e tali saranno anche i termini alla base del tentativo di comprenderla ed applicarla in ambiti diversi. Risulta immediato notare come questi termini facciano anche parte del vocabolario dell'informatica. Esiste infatti, come vedremo, una stretta relazione tra morfogenesi e matematica, in quanto base di tutti gli algoritmi di crescita e in generale di organizzazione della materia nel mondo fisico, organico ed inorganico (i cristalli ad esempio).

Abbiamo detto, e la letteratura biologica è piena di esempi, di come la struttura di ogni processo morfogenetico sia rappresentata da algoritmi; le altre forze in gioco nel regolare queste dinamiche sono le condizioni in cui queste informazioni si trovano a generare i sistemi materiali. La forma risultante dal processo è sempre frutto di una mediazione, una disputa tra le forze endogene e forze esogene all'organismo

### 1.2.5 CRESCITA E FORMA

Introduciamo in questo paragrafo un argomento alla base dell'approccio appena descritto e che sarà al centro delle argomentazioni del capitolo successivo: la differenziazione, una strategia essenziale in natura. Per farlo riportiamo un estratto dall'opera "On Growth and Form" del biologo D'arcy Wentworth Thompson, che già nel 1942 notava in alcune configurazioni proprie del mondo biologico una intrinseca capacità di gestire irregolarità e singolarità di un sistema:

*[...] But here a strange thing comes to light. No system of hexagons can enclose space. Whether the hexagons be equal or unequal, regular or irregular, it is still under all circumstances mathematically impossible. So we learn from Euler: the array of hexagons may be extended as far as you please, and over a surface either plane or curved, but it never closes in. Neither our reticulum plasmaticum nor what seems the very perfection of hexagonal symmetry in Aulonia are as we are wont to conceive them; hexagon indeed predominate in both, but a certain number of facet are and must be other than hexagonal. If we look carefully at Carnoy's careful drawing we see that both pentagons and heptagons are shewn in his reticulum, and Haeckel actually states, in his brief description of his Aulonia hexagona, that a few square or pentagonal facets are to be found among the hexagons. Such skeletal conformations are common: and Nature, as in all her handwork, is quick to ring the changes on the theme. (Thompson, 1942)*

*Ma a questo punto viene alla luce una cosa strana. Nessun sistema di esagoni può racchiudere spazio. Sia che gli esagoni siano uguali o diversi, sia che siano regolari o irregolari, è in qualsiasi circostanza matematicamente impossibile. Così abbiamo imparato da Eulero: la matrice di esagoni può essere estesa a piacimento, e su una superficie che sia piana o curva, ma non può mai richiudersi. Né il nostro reticolo plasmatico né ciò che sembra la così perfetta simmetria esagonale nell'Aulonia sono come siamo abituati a concepirle; gli esagoni sono effettivamente predominanti in entrambe, ma un certo numero di facce sono e devono essere necessariamente non esagonali. Se guardiamo attentamente all'accurato disegno di Carnoy possiamo vedere che sia i pentagoni che gli ettagoni sono mostrati nel suo reticulum, e Haeckel di fatto dichiara, nella sua breve descrizione dei suoi Aulonia hexagona, che alcune facce quadrate o pentagonali si possono trovare tra gli esagoni. Tali conformazioni scheletriche sono comuni: e la Natura, come in tutte le sue opere, è rapida a trovare una via alternativa in questi casi.*

Si è scelto di riportare questo estratto perchè strettamente connesso alle morfologie che saranno applicate nel progetto. Thompson parla di configurazioni esagonali con irregolarità, in tempi più recenti invece si può notare come la spiegazione di tali forme sia trattata in maniera più approfondita e connessa ad un altro concetto chiave del prossimo capitolo: la multiperformance:

*The ability to differentiate the honeycomb morphology brings it much closer to the remarkable versatility found in natural systems, in which irregularity is the key to functional integration and adaptation while regularity is just a highly unlikely anomaly.*

*Gibson and Ashby 1999: cells come in many shapes and sizes. Two-dimensional arrays (honeycombs), if regular, are assemblies of triangles, squares or hexagons. Many man-made honeycombs, and some naturally occurring ones, are regular; but in nature there are frequent deviations from regularity caused by the way in which the individual cells nucleate and grow, and the rearrangements which take place when they impinge.*

*As a consequence this research is based in a hypothesis that a differentiated honeycomb cellular*

*solid provides the material and technological innovation required for a higher-level integration of multiple-performance criteria as observed in natural cellular solid systems. (Hensel, Menges, Weinstock, 2010, p.179)*

*L'abilità di differenziare la morfologia dell'alverare lo porta più vicino alla notevole versatilità che si trova nei sistemi naturali, nei quali l'irregolarità è la chiave per un adattamento e una integrazione che siano funzionali, mentre la regolarità è una anomalia non desiderata.*

*Le cellule si presentano in diverse forme e dimensioni. Le matrici bidimensionali (ad alveare), se regolari, sono raggruppamenti di triangoli, quadrati o esagoni. Molti alveari costruiti dall'uomo, e alcuni che si manifestano in natura, sono regolari; ma in*

*natura esistono frequenti deviazioni dalla regolarità causate dal modo in cui le cellule formano il proprio nucleo e crescono, e dalla nuova disposizione che avviene quando esse entrano in contatto.*

*Di conseguenza questa ricerca si muove all'interno dell'ipotesi che una geometria cellulare alveolare differenziata fornisce l'innovazione materiale e tecnologica richiesta per un'integrazione di livello superiore di criteri multi-performanti come osservato nei sistemi cellulari naturali.*

Vedremo in seguito come nel progetto Homeostatic Patterns proprio queste motivazioni siano alla base della scelta della strategia di discretizzazione della membrana al fine della generazione di una struttura portante applicabile a qualsiasi tipo di superficie perchè capace di integrare differenziazioni di questo tipo: l'algoritmo di Voronoi.

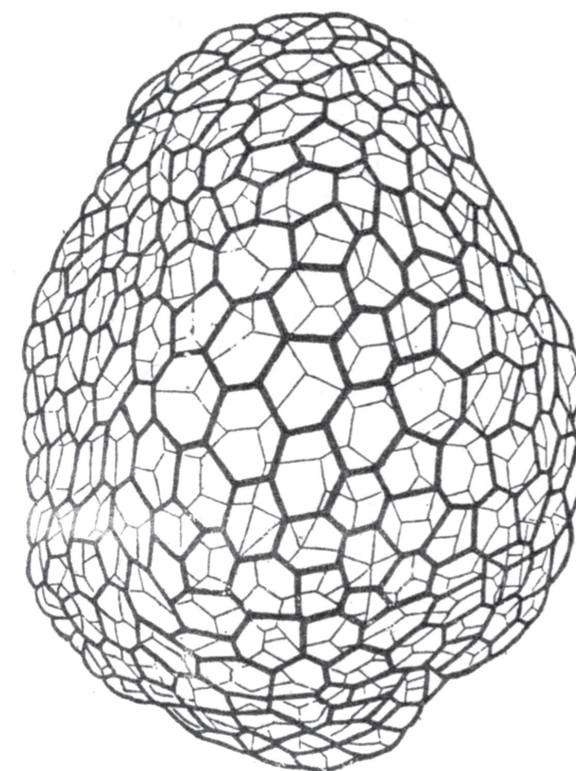


Fig. 321. "Reticulum plasmaticum." After Carnoy.

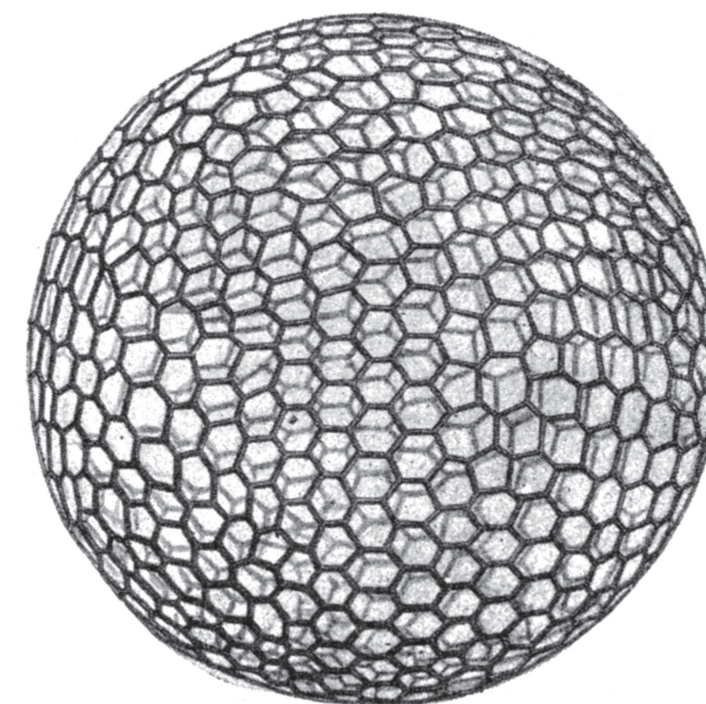


Fig. 322. Aulonia hexagona Hkl.

1.8\_ Reticolo plasmatico e scheletro dell'Aulonia tratti da "On Growth and Form"



## 1.3\_IMPLICAZIONI

## 1.3.1\_MULTIPERFORMANCE OPTIMIZATION

*The concepts that sustain structural intuition must be seen in an active dance with architectural concepts. There are many paths to equilibrium, not just minimal or direct ones. (Reiser, Umemoto, 2006, p. 202)*

*I concetti che sostengono l'intuizione ingegneristica devono essere visti in un gioco attivo con i concetti architettonici. Ci sono molte strade che portano all'equilibrio, non solo quelle minime o dirette.*

Tra queste strade che portano all'equilibrio, spesso la pratica architettonica tende ad affrontare i problemi che è chiamata a risolvere scindendoli in sistemi indipendenti e isolati. Le figure dell'architetto e dell'ingegnere affrontano il progetto in tempi diversi e giustappongono le soluzioni. L'ottimizzazione strutturale in particolare è spesso un processo che si considera a livello di astrazione formale, in cui si cerca la forma migliore in assoluto per una particolare tipologia di struttura. Ma la realtà è sempre contestuale e mai assoluta, e in fondo ci sono davvero molte strade che portano all'equilibrio:

*When Frank Gehry piles on the steel in order to achieve the form he wants, ignoring the behavior of forces within the project, he is optimizing toward pure form. A work of engineering purity, such as a suspension bridge, optimize toward the behavior of force only. We work with a process of optimization to navigate a range between the minimizing athletics of pure forces and the maximizing of structures required by the unrestrained aesthetics of form, keeping both in play rather than extending into one at the expense of the other. (Reiser, Umemoto, 2006, p. 202)*

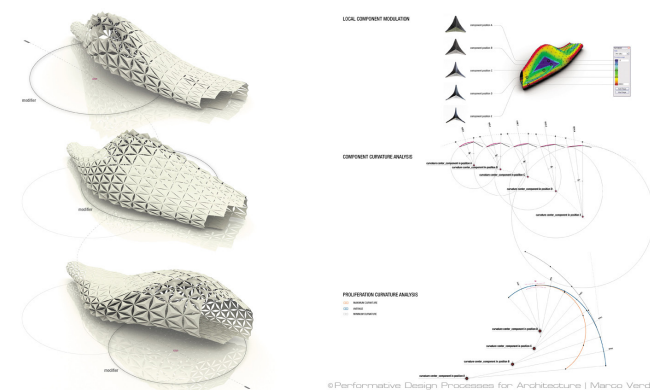
*Quando Frank Gehry accumula l'acciaio al fine di ottenere la forma da lui desiderata, ignorando il comportamento delle forze all'interno del progetto, sta ottimizzando per ottenere pura forma. Un lavoro di purezza ingegneristica, come ad esempio un ponte sospeso, ottimizza esclusivamente il comportamento delle forze. Noi lavoriamo in un processo di ottimizzazione per muoverci in un range tra il minimizzare la leggerezza delle forze pure e il massimizzare delle strutture richiesti da un'estetica della forma senza limiti, tenendo entrambe in gioco piuttosto*

*sto che prostrarne una a spese dell'altra.*

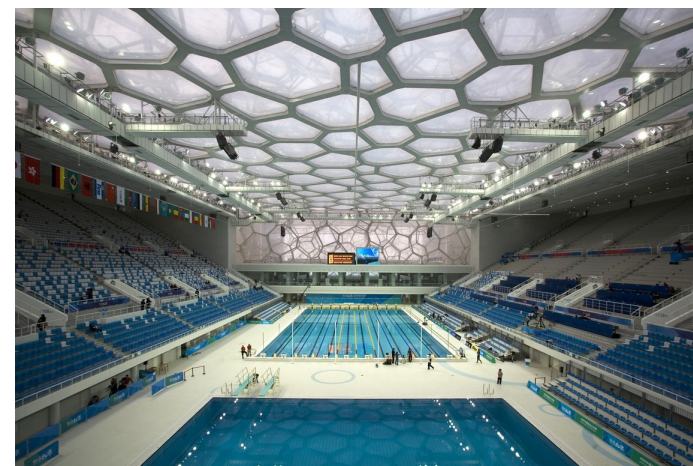
Questo esempio, trattando solo della interazione tra sistema delle forze e valeza estetica, è solo la punta dell'iceberg, utile però a capire che ci sono possibilità di generazione formale che vanno al di là della pura ottimizzazione di un aspetto a spese degli altri. Tutti gli aspetti della progettazione sono parte attiva in questa ricerca dell'equilibrio attraverso l'interazione e l'integrazione di molteplici processi di organizzazione della materia:

*Shapes and spatial organization in nature are then the evolutionary emergent result of complex simultaneous interactions forces acting upon material system, generating patterns in space and time, organized in multi-level hierarchies of morphological complexity. (Erioli, 2009)*

*Le forme e l'organizzazione spaziale in natura sono il risultato evolutivo emergente di interazioni simultanee e complesse di forze che operano su sistemi materiali, generando patterns nello spazio e nel tempo,*



1.9\_Marco Verde, [M]SYSTEMS, Multi Performative Efficient System, 2009. Differenziazione del sistema architettonico per una prestazione energetica e strutturale integrata.

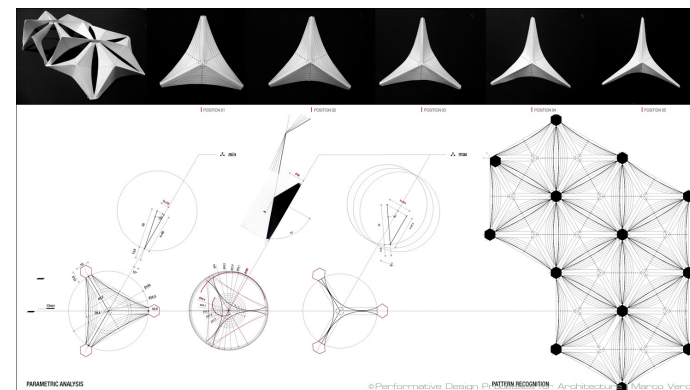


1.10\_PTW Architects, Watercube, Beijing Olympic Swimming pool. Sistema strutturale ridondante e comportamento energetico della membrana integrati in un unico processo mutiperformante di biomimesi

*organizzati in gerarchie multilivello di compessità morfologiche.*

Una delle caratteristiche fondamentali esibite dagli organismi biologici è la capacità della materia di instaurare processi di auto-organizzazione, responsabile dei processi di ottimizzazione che guidano all'uso efficiente dell'energia nella lotta per la sopravvivenza.

Questa ottimizzazione non mira al raggiungimento di un risultato globale deterministico e "chiuso" (precedentemente stabilito e poi perseguito ad ogni costo), quanto piuttosto al raggiungimento di un'efficienza di processi locali con obiettivi multipli e necessità divergenti; tali processi interagiscono organizzando sistemi nei quali proprietà peculiari uniche emergono dalle interazioni descritte. Le esigenze divergenti non sono negoziate sulla base di un principio di esclusività (una esigenza esclude o elimina le altre) ma da un principio di prevalenza, dove le necessità non prevalenti non cessano di esistere ma si modificano in funzione di quelle prevalenti (il proprio campo di espressione è vincolato dai percorsi tracciati in quello delle esigenze prevalenti).

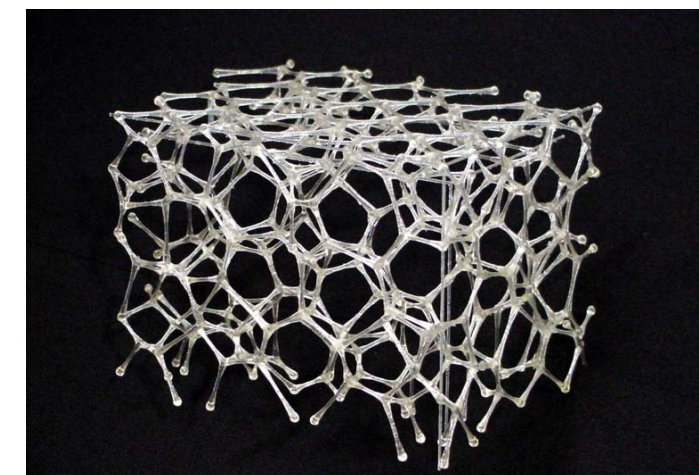
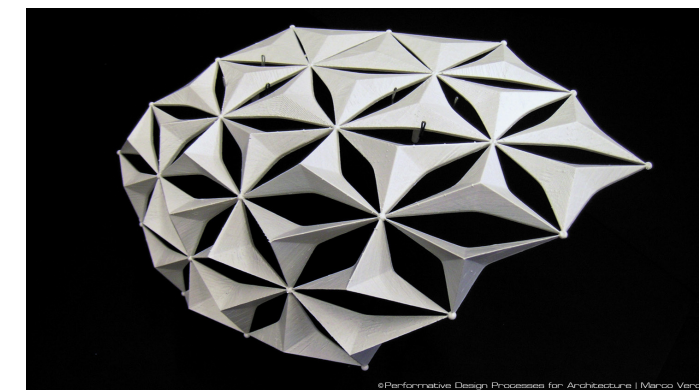


## 1.3.2\_DIFFERENZIAZIONE E MODULAZIONE

*Architectural design in such context is the differentiation of space through modulation of specific micro-environmental conditions within an emergent macro-environmental context. (Erioli, 2009)*

*La progettazione architettonica in questo contesto è la differenziazione dello spazio attraverso la modulazione di condizioni microambientali all'interno del contesto macro-ambientale emergente.*

Una interessante definizione di Architettura, o almeno una sua descrizione sublimata in pochi termini ma dal profondo significato, è contenuta nella frase "Architettura è differenziazione dell'ambiente per creare specificità", filosofia di base e filo conduttore delle ricerche svolte all'interno dell'EmTech Studio della Architectural Association di Londra nel periodo di insegnamento dei professori Michael Hensel, Achim Menges e Michael Weinstock. Se si guarda l'architettura "tradizionale" attraverso queste parole, è immediato riconoscere come tale differenziazione, invece di essere gestita come un gradiente continuo





di variazioni, viene realizzata solo nei due casi limite, in linea (e foraggiando essa stessa) con una visione della realtà basata e gestibile solamente con dicotomie esclusive. Pieni/vuoti, esterno/interno, finestra/muro sono esempi di come sia facile cadere nella tentazione di dividere le possibilità in un "tutto o niente" se non si accetta l'idea di fare un passo indietro per riconoscere che in realtà si tratta solo dei limiti esterni di un campo di differenziazione continuo. Pensare a situazioni intermedie (una tettoia, un gazebo riscaldato, i portici) è un modo banale quanto efficace per riconoscere l'infondatezza di queste dicotomie che hanno influenzato tanta produzione architettonica. Una precisazione: queste di considerazioni non sono dovute solo alle evolute possibilità tecnologiche disponibili oggi a chi lavora in architettura, anche se sicuramente hanno influenzato la maturazione di una sensibilità di questo tipo, ma ad un cambiamento culturale basato su una diversa consapevolezza dell'importanza del rapporto tra uomo e ambiente, e fondamentalmente dal riconoscimento che siano la stessa cosa: natura.

Proprio il mondo naturale, anche in questo caso, ci sorprende con esempi di come questa differenziazione possa generare sistemi multiperformanti molto efficienti. Le variazioni sulla superficie esterna del geco, ad esempio, o del coccodrillo rappresentano un ottimo punto di partenza per osservare come all'interno dello stesso sistema morfogenetico possano essere ottenute, attraverso la variazione continua di caratteristiche materiali e morfologiche, delle prestazioni assai differenti e tutte necessarie per la sopravvivenza. La possibilità di arrampicarsi in verticale su superfici lisce, la protezione assicurata dal possedere una superficie esterna molto resistente e l'agilità dovuta a giunti tra corpo e arti elastici sono tutte caratteristiche dovute alla differenziazione dell'epidermide di questi rettili e sono un esempio lampante delle possibilità che potrebbero essere esplorate trasponendo dinamiche morfogenetiche biomimetiche nei campi di indagine delle nostre tecnologie.

*Computational morphogenesis can be described as a process of perpetual differentiation. The increasing morphological and functional difference of elements enabling the system's performative capacity unfolds from their divergent development directions triggered by a heterogeneous environment and multiple functional criteria. (Hensel, Menges, Weinstock, 2010, p.56)*

*La morfogenesi computazionale può essere descritta come un processo di perpetua differenziazione.*

*La crescente differenza morfologica e funzionale degli elementi che attiva la capacità performativa del sistema dispiega dal proprio sviluppo divergente direzioni innescate da un ambiente eterogeneo e da criteri funzionali multipli.*

Solo attraverso processi di differenziazione e modulazione si potranno innescare quindi dinamiche di ottimizzazione multiperformante, con il conseguente raggiungimento di configurazioni efficienti e flessibili.

### 1.3.3\_RIDONDANZA E SICUREZZA

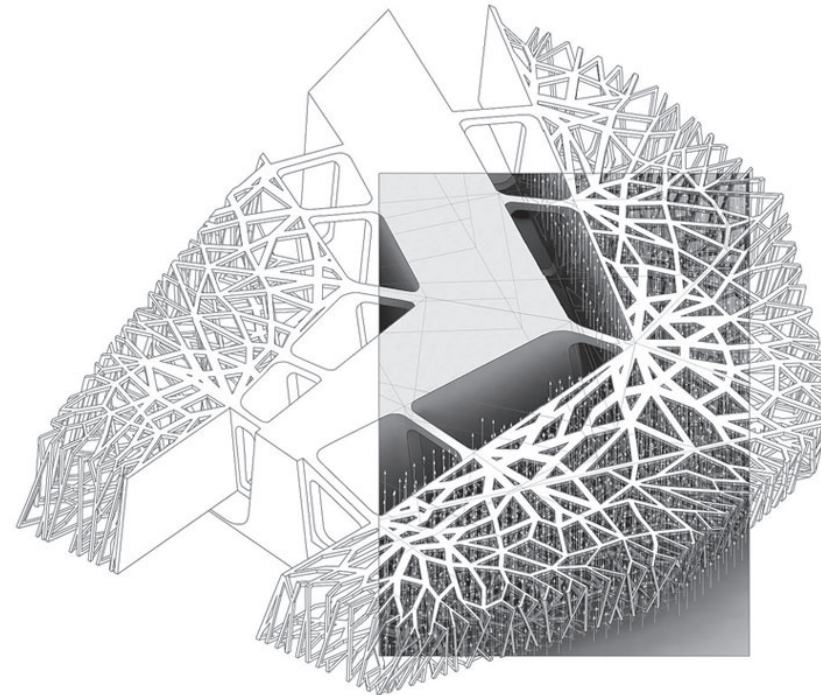
Una struttura ad elevato grado di resistenza può essere ottenuta applicando un modello statico ridondante, consiste in una struttura in cui i vincoli tra gli elementi sono sovrabbondanti rispetto a quelli necessari a creare una struttura rigida. Questa strategia è spesso utilizzata in natura per poter rispondere a sollecitazioni di natura imprevedibile con un comportamento complessivo migliore dovuto proprio all'abbondanza di elementi resistenti. Un altro pregio dei sistemi ridondanti è la non-indispensabilità di un elemento specifico, per cui la capacità strutturale dell'intera struttura viene condizionata da eventuali danneggiamenti subiti da un singolo elemento. Questi principi rendono i sistemi ridondanti, di origine organica e non, un esempio virtuoso di sicurezza nel generico campo delle strutture resistenti.

*Deviations from the geodetic, for example, are not failures in engineering logic or irrational expressions.*

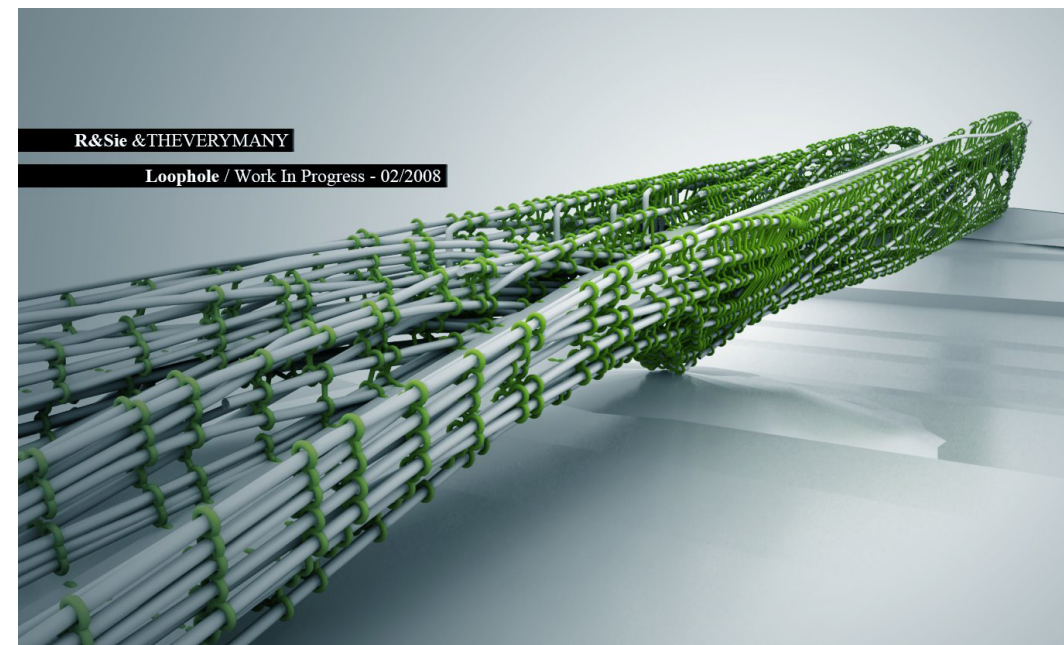
*under this model but rather represent emergent patterns of order that are the result of many different material traits operating in the system at once – the resolution of forces at different scale of matter. Thus, in the dynamic interplay of geometry, materials, and forces at multiple scale, the least-action principle governs the deviation. (Reiser, Umemoto, 2006, p, 140)*

*Le deviazioni dalla geodetica, per esempio, non*

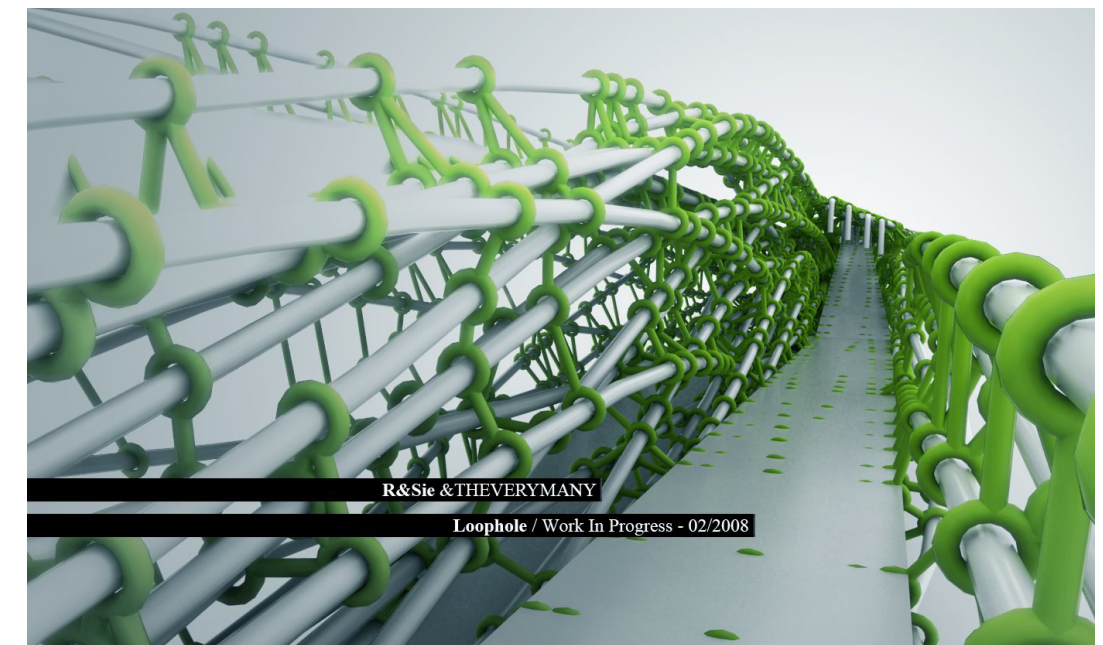
*sono fallimenti della logica ingegneristica o espressioni irrazionali di questo modello, ma piuttosto rappresentano pattern emergenti di ordine, che sono il risultato di tante diverse caratteristiche materiali che operano contemporaneamente nel sistema – la risoluzione di forze ad una diversa scala della materia. Di conseguenza nell'interazione dinamica di geometria, materiali e forze a scale multiple, il principio della minima azione governa la deviazione.*



**1.11** Performative branching structure of the competition design for the New Czech National Library in Prague (2006) by OCEAN and Scheffler + Partner Architects



**1.12** R&Sie & Theverymany, Loophole, 2008. Sistema strutturale ridondante, con una profonda valenza estetica, permette il raggiungimento di un più alto livello di sicurezza.





## 1.4\_METODO

## 1.4.1\_DA PROGETTO A PROCESSO

*Generative design is not about designing a building, It's about designing the system that designs a building. (Lars Hesselgren)*

In queste parole è racchiuso il punto nodale, alla base della concezione stessa di progettazione generativa, rappresentato dal cambio radicale di ottica su come un organismo architettonico venga concepito e quale sia il ruolo del progettista. Progettare, strutturare un sistema è l'attività che compete all'architetto, il sistema costruito potrà così essere informato con dati, frutto di analisi specifiche, che configureranno la soluzione formale, sulla base delle regole inserite, al variare delle condizioni esterne.

Siamo finalmente di fronte ad un profondo cambio di prospettiva: dal progetto classico, prodotto finale di un'attività complessa ed eterogenea e, come tale, in cui è difficile la modificazione a posteriori di alcune proprietà senza avere ripercussioni sulle altre, l'attenzione si sposta sul processo che lo genera.

*Computational design lends itself to an integral design approach as it enables employing complex behaviour rather than just modelling a particular shape or form. (Hensel, Menges, Weinstock, 2010, p.51)*

*La progettazione computazionale si presta ad un approccio progettuale integrale in quanto attiva l'impiego di comportamenti complessi piuttosto che la sola modellazione di particolari forme.*

In questo modo la soluzione sarà intrinsecamente coerente, sia con le proprie regole strutturanti, sia con le condizioni sotto cui si troverà a svolgere la propria funzione, dando vita ad una soluzione integrata e senza bisogno di interpretazioni esterne o omologazioni dei dati ricavati. Potrebbe sembrare un modo estremamente complesso di

affrontare i problemi legati alla progettazione architettonica ma non è necessariamente così, anzi:

*Based on the logic of evolutionary development, the algorithm is modular, non hierarchical and uses the simplest tools, local interaction and feedback to develop higher-order structure, architectural form and behaviour. (Hensel, Menges, Weinstock, 2010, p.40)*

*Basto sulla logica dello sviluppo evolutivo, l'algoritmo è modulare, non gerarchico e usa gli strumenti più semplici, interazioni locali e feedback al fine di sviluppare struttura, forma architettonica e comportamento di ordine superiore.*

Come nella realtà, anche nel processo morfogenetico le soluzioni, anche le più complesse, sono il risultato di operazioni semplici su elementi semplici. Sono la reciproca interazione degli elementi e l'iterazione del processo che daranno vita a configurazioni complesse, auspicabilmente non preparate a tavolino dal progettista ma emergenti dal processo stesso.

## 1.4.2\_FORM FINDING

A proposito dei processi di ottimizzazione multiperformante descritti nel precedente capitolo, un'attenzione particolare va rivolta alle dinamiche di "ricerca della forma". Questa ricerca consiste nell'instaurare e lasciare equilibrare un sistema pervaso da campi di forze che agiscono contemporaneamente tra loro e con le leggi costitutive del materiale attraverso cui le forze si propagano:

*Material and morphological characteristics are derived through iterative feedback loops, which continually process the material system's interaction with statics, thermodynamics, acoustics, light and so on.*

*Frei Otto: the knowledge of the conditions under*

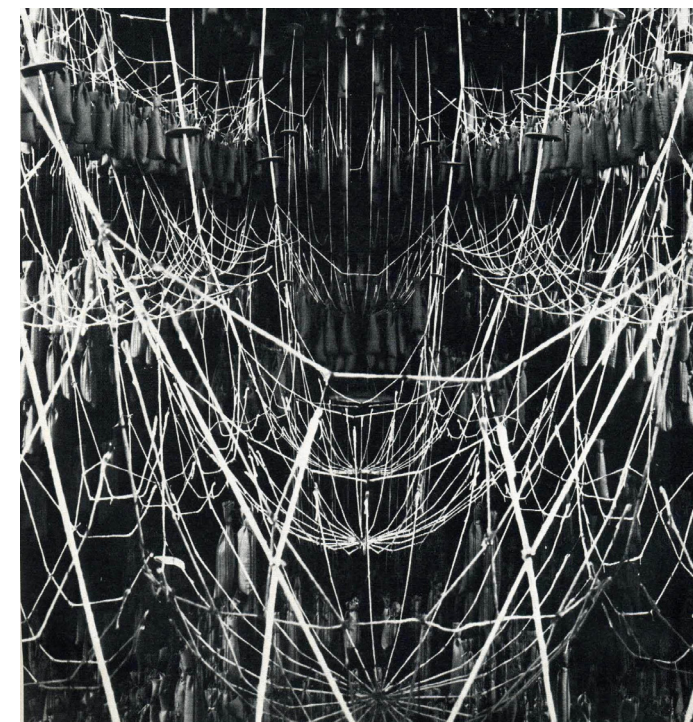
*which forms develop opens up the possibility to qualify step by step the differentiation between design – the anticipation of reality in mind – and the construction of building – the production of objects.*

*[...] this refers to the generation of a system's particular shape as the self-found equilibrium state of the forces acting upon it and its internal resistances determined by its material properties. In other words the designer defines a number of critical parameters and material characteristics, upon which the material system settles into the equilibrium state by itself taking on its specific shape in the process. This design method of form finding, as Frei Otto called it, is profoundly different from the still prevalent form definition. (Hensel, Menges, Weinstock, 2010, p.48)*

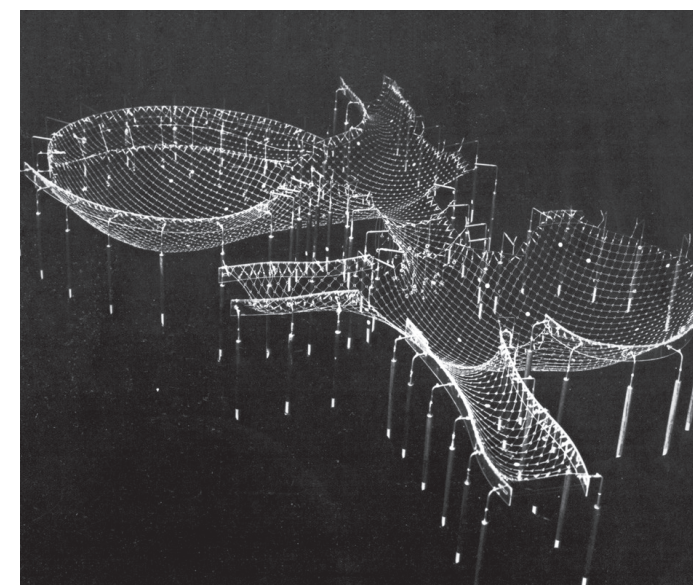
*Le caratteristiche materiali e morfologiche sono prodotte attraverso cicli di feedback iterativi, i quali processano in modo continuativo le interazioni del sistema materiale con la statica, la termodinamica, l'acustica, la luce e così via.*

*Frei Otto: La conoscenza delle condizioni sotto le quali le forme si sviluppano aumenta la possibilità di qualificare passo per passo la differenziazione tra progetto – l'anticipazione della realtà nella mente – e la costruzione di edifici – la produzione di oggetti.*

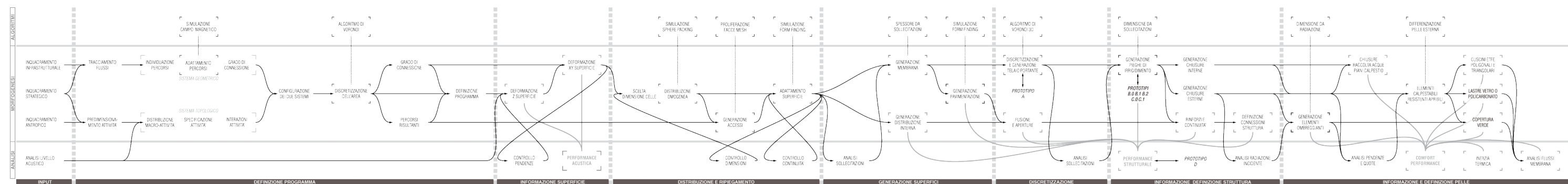
*[...] questo si riferisce alla generazione di una particolare forma di un sistema in quanto lo stato di equilibrio autoregolamentato delle forze ha effetto su di esso e sulle sue resistenze interne determinate dalle sue proprietà materiali. In altre parole, il progettista definisce un numero di parametri critici e caratteristiche materiali, sulle quali il sistema materiale stabilisce autonomamente lo stato di equilibrio assumendo la propria specifica forma all'interno del processo. Questo metodo di progettazione del form finding (ricerca della forma), come Frei Otto lo chia-*



1.13\_Antoni Gaudì, form finding a catenarie per la Colonia Guell



1.14\_Frei Otto, modello di form finding per il Multihalle pavilion



1.15\_Processo progettuale di Homeostatic Patterns. In questa versione definitiva sono rappresentati gli step e i flussi di dati che entrano in gioco nella generazione delle geometrie



*mò, è profondamente diverso dall'ancora dominante form definition (definizione della forma).*

Se i primi divulgatori di questo concetto, come Frei Otto o Antoni Gaudì, sono riusciti ad operare in sintonia con esso solo attraverso la meticolosa sperimentazione su modelli fisici e non senza difficoltà dovute alla precisione e al cambiamento di scala, oggi è alla portata di tutti i progettisti la possibilità di perseguire un form finding simulato dal software sulla base delle leggi che regolano la fisica in esso implementate. Non più costosi ed imprecisi modelli ma un sistema integrato con gli strumenti di progettazione che permette un controllo pressochè totale del processo e la possibilità di eseguire un numero infinito di test a costi azzerati.

*Such models run as processes, with inputs and outputs, and when the parameters are changed related changes in the output form and behavior are produced. Many physical processes are modeled in this way in the computer, producing interactive simulations of the physics of the word. (Hensel, Menges, Weinstock, 2010, p.19)*

*Questi modelli funzionano come processi, con input e output, e quando i parametri cambiano in relazione tra loro producono cambiamenti nella forma elaborata e nel comportamento. Molti processi fisici sono modellati in questa maniera dal computer, producendo simulazioni interattive della fisica del mondo.*

### 1.4.3\_SIMULAZIONE REAL TIME E PROCESSO GENERATIVO

Il processo progettuale si è potuto concretizzare in maniera analiticamente coerente ed efficace grazie alla costruzione di una pipeline di lavoro personalizzata e flessibile, studiata ad hoc al fine di ottenere una struttura connettiva tra i diversi software specifici che si sono utilizzati per gestire e modificare il flusso di dati nei varie fasi progettuali. Un network di programmi disponibili sul mercato o ancora in fase beta è stato intessuto per permettere un passaggio integrale dei dati, ad esempio da softwares di analisi a modellatori parametrici, evitando colli di bottiglia o interventi dell'operatore che non sarebbero riusciti ad interpretare una mole così vasta di dati. Il nodo centrale che ha reso possibile questa impostazione multiconnessa è rappresentato dal programma di modellazione tridimensionale Rhinoceros e in particolare dal suo plugin Grasshopper, definito "modellatore generativo" dal suo stesso sviluppatore ma che fondamentalmente rappresenta un'interfaccia

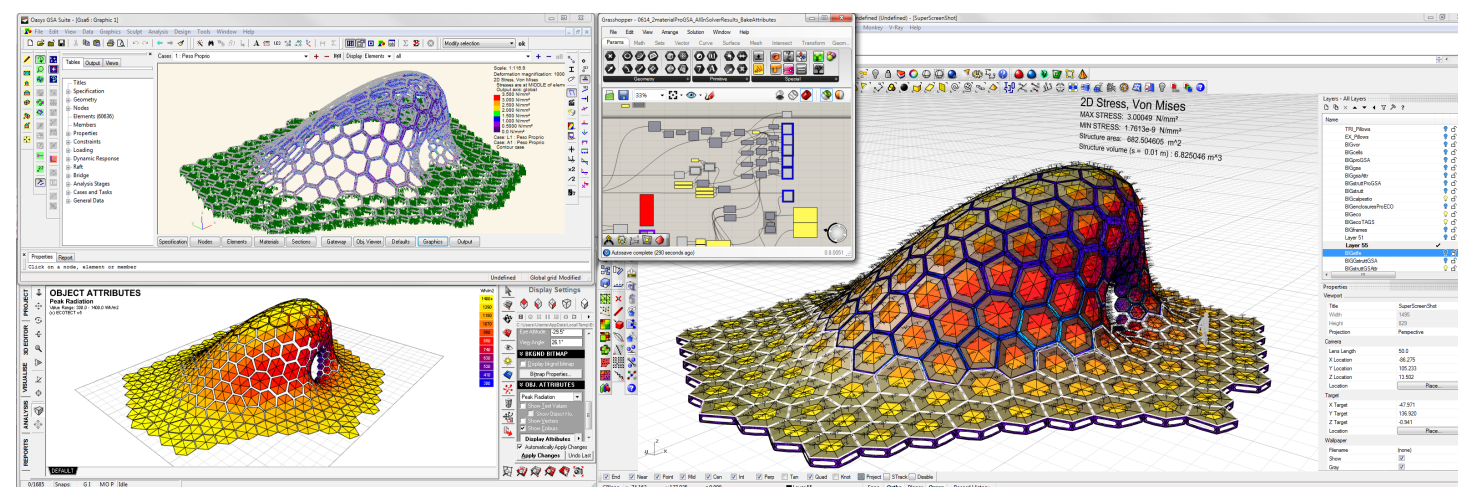
visuale alla modellazione attraverso scripting ( "Explicit History" era il nome precedente a quello attuale). Di seguito si descriveranno in breve alcune caratteristiche di questo programma, in quanto anche se non particolarmente innovativo dal punto di vista della concezione strettamente operativa (la modellazione generativa attraverso scripting era già affermata e condivisa da anni quando è stato introdotto questo software che, fondamentalmente, altro non aggiunge che una interfaccia grafica con librerie precompilate) è oggi utilizzato dai più avanzati studi professionali e realtà accademiche e con il suo successo ha causato un adattamento (in stile "reverse engineering") da parte di tutta la galassia di software di modellazione 3D.

### 1.4.4\_ CNC E FUTURO DELLA PRODUZIONE

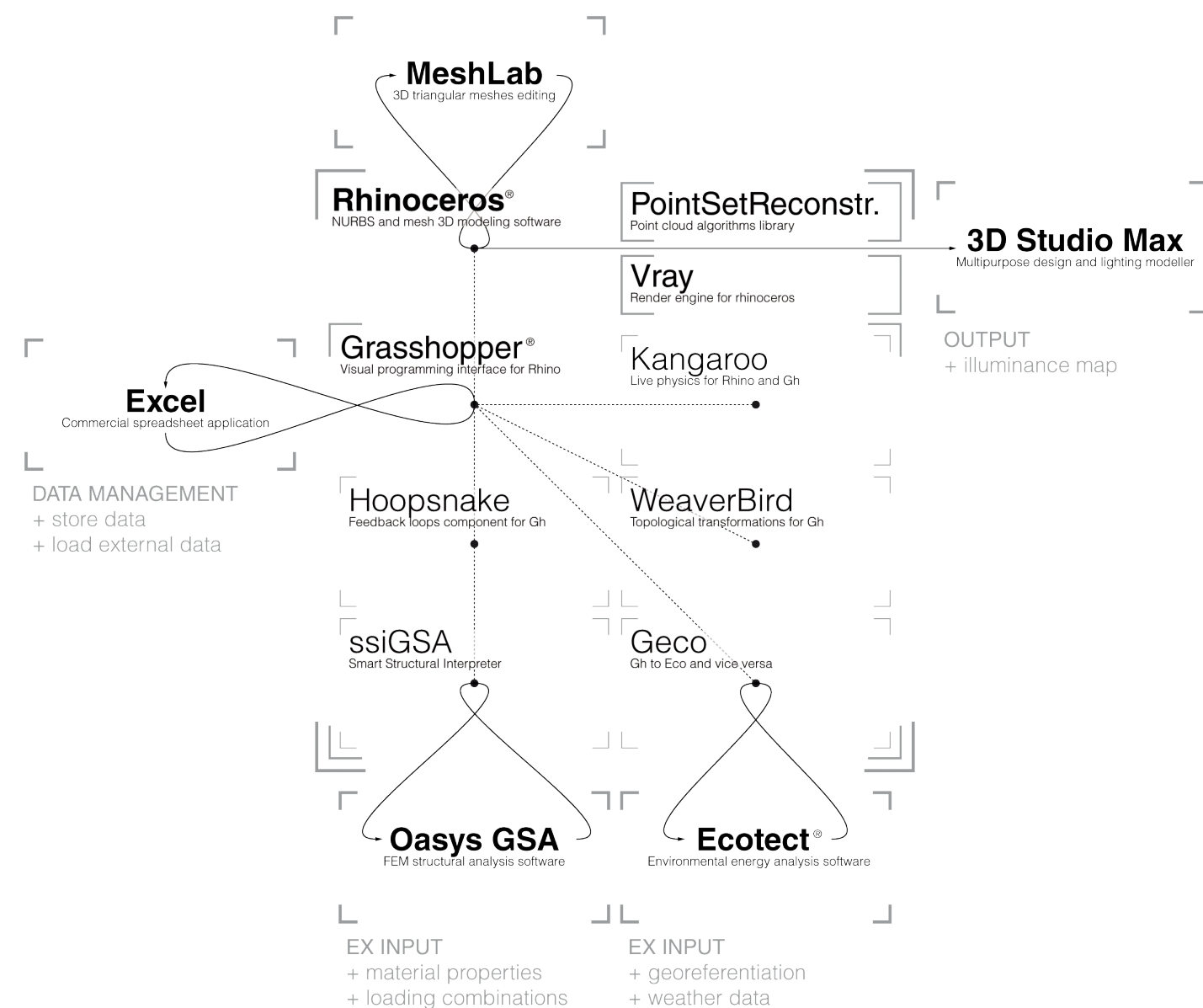
*Material science promises to bridge the gap between natural variation and standardization through non-standard materials, the trait and performance of which can be manipulated even within a single member according to specific requirements. This will liberate the traits of steel from modernity's homogeneity and paradoxically return them to heterogeneity of traditional practices such as sword-making. (Reiser, Umemoto, 2006)*

*Le scienze materiali promettono di lanciare un ponte tra le variazioni presenti in natura e la standardizzazione attraverso materiali non-standard, le peculiarità e le performance dei quali possono essere manipolate anche all'interno di un singolo membro in osservanza di esigenze specifiche. Questo libererà le caratteristiche dell'acciaio dalla omogeneità del moderno e paradossalmente le riporteranno all'eterogeneità delle pratiche tradizionali come ad esempio la forgiatura.*

Dalla creatività applicata a nuovi strumenti come quelli descritti sopra possono emergere soluzioni più efficienti ed eleganti della produzione consolidata. Consolidata perchè si è costituito un sistema rigido di potere (economico) basato su un tipo di produzione ripetitiva elaborata per rispondere a specifiche esigenze di ottimizzazione delle tecnologie produttive al fine di abbattere costi e tempi. E' evidente però come tali soluzioni siano da inquadrare nel proprio contesto di sviluppo, localizzato in un determinato tempo e luogo, e non possano essere considerate soluzioni universali. Questo a maggior ragione se si conviene che la maggior parte delle necessità che si cerca di soddisfare attraverso questi processi produttivi non siano universali ma si modifichino nello spazio e nel tempo, proprio come



1.16. Print screen di una fase di lavoro basata su flussi di dati passanti in tempo reale dai software di simulazione (Oasys GSA ed Ecotect, a sinistra) al software di modellazione (Rhinoceros, a destra) attraverso una definizione di Grasshopper (al centro)



1.17\_ Topologia della connessione tra softwares. Il flusso di dati e' gestito senza soluzione di continuita' in una pipeline costruita ad hoc per il progetto



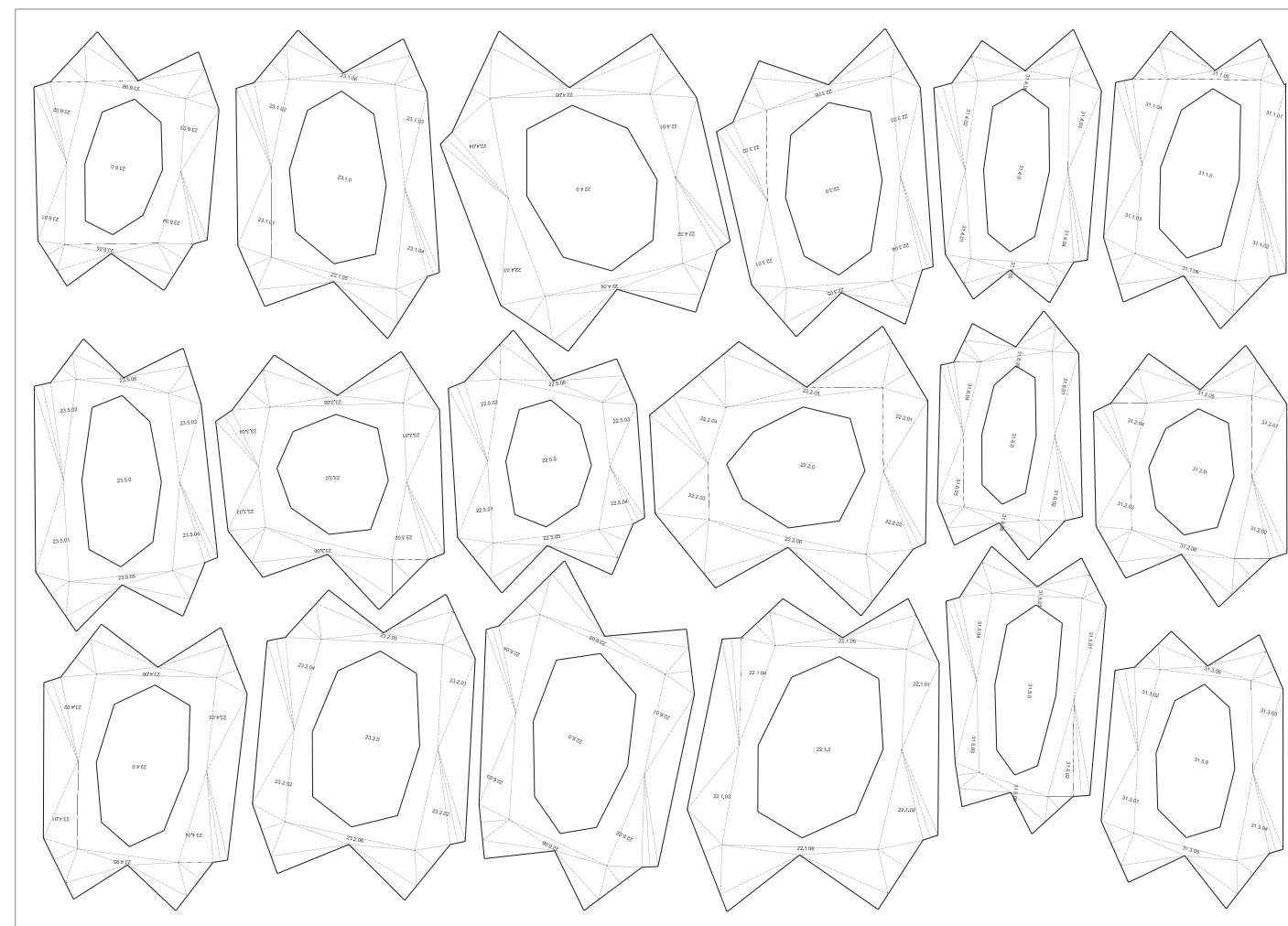
nello spazio e nel tempo si modifica l'ambiente circostante e le risorse a disposizione.

Un esempio banale di questa impossibilità di maturare soluzioni universali si può riscontrare nel basso grado di efficienza energetica (dovuta al trasporto a lungo raggio) quando si opti per l'utilizzo di uno stessa materia prima o lavorata in luoghi lontani da quello di origine o produzione. Tale delocalizzazione, spesso accompagnata da una esportazione brutale della tecnica, arriva la maggior parte delle volte a causare nel luogo di impianto anche un certo arretramento culturale a causa della perdita di competenze e maestranze peculiari, spesso le più sostenibili tra quelle a disposizione perchè evolutesi all'interno dello stesso ecosistema e di cui sarebbe piuttosto da incentivare lo studio per la ricerca di soluzioni più efficienti.

Il rifiuto delle limitazioni che l'utilizzo dei materiali e degli elementi costruttivi della produzione architettonica consolidata (che oggi invadono il mercato) comportano è stato una delle condizioni senza le quali il progetto che ci si appresta ad esporre non sarebbe potuto nascere. Nel processo progettuale infatti si è sempre tenuto conto delle possibilità fornite dall'ampia gamma di materiali di cui oggi si conoscono in maniera approfondita caratteristiche e tecnologie produttive resistendo però ad associarle a soluzioni formali standardizzate esistenti per favorire l'esplorazione di nuove configurazioni intrinsecamente coerenti al processo progettuale.

Fatta questa premessa dovrebbe risultare di più facile comprensione la scelta di lasciare agli algoritmi che hanno generato i componenti dell'involucro edilizio la possibilità di creare elementi tutti diversi tra loro e quindi difficilmente collocabili in un processo produttivo esistente ma di cui non sarebbe difficile pensarne lo sviluppo. Favoriti dal totale controllo informatico delle geometrie (e delle loro caratteristiche dimensionali) e dall'altissima precisione (dell'ordine del decimo di millimetro in un modello digitale con una superficie di più di 10 ettari) che l'utilizzo di software di modellazione tridimensionale ha permesso, si è deciso di proporre un processo produttivo incentrato sull'utilizzo di macchine CNC (Computer Numerical Control) per la lavorazione dei componenti. Queste macchine, di uso più che consolidato il campi come l'industria meccanica e il design, sono poco a poco diventate attori importanti anche per le lavorazioni in ambito architettonico in quanto permettono una maggior flessibilità e possibilità di variazione dei manufatti ottenibili pur mantenendo una totale automatizzazione dei processi e un'alto rendimento così come succede con la produzione in serie per gli elementi standardizzati. Una volta studiata la procedura e ge-

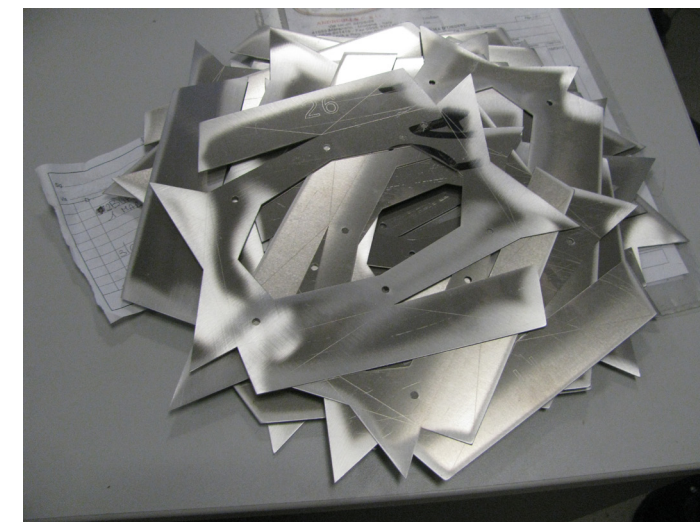
nerato il programma di lavorazione, alla macchina non fa infatti alcuna differenza produrre ogni volta un pezzo differente purchè la velocità con cui le informazioni necessarie vengono acquisite sia maggiore di quella con cui procede la lavorazione per cui non si assisterà a rallentamenti che non siano strettamente dovuti alla realizzazione di lavorazioni più complesse. Il tutto con il vantaggio non trascurabile che macchine come bracci meccanici e robot capaci di movimenti a 7 assi di rotazione e installabili a loro volta su un sistema di binari rappresentano un tipo di tecnologia estremamente flessibile sia per tipo di lavorazioni che di dimensioni del prodotto, proprio per questa capacità di adattamento promotori di un modello di produzione in continuo sviluppo (tutt'ora irrigidito dall'alto costo di sostituzione delle macchine) oltre che con un più alto grado di produttività, precisione e sicurezza.



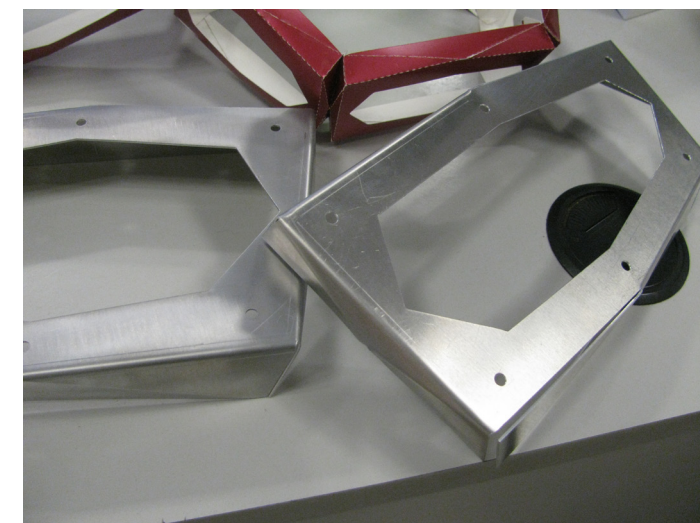
**1.18** Nesting dei componenti da tagliare e piegare in un unico foglio per avere i minimi sfridi possibili. Una macchina CNC è in grado di interpretare un file vettoriale e compiere la lavorazione (taglio o piega) velocemente e garantendo alta precisione.



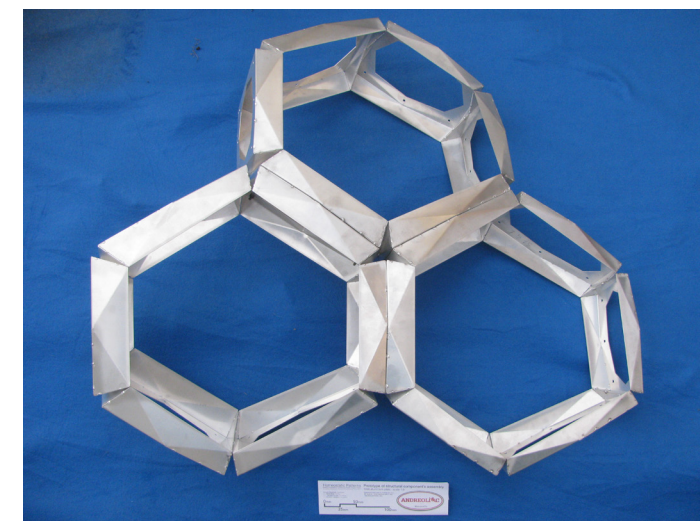
**1.19** Prototipo C.0 in cartoncino ottenuto con il taglio del foglio sottostante tramite macchina tagliatrice a controllo numerico



**1.20** Elementi del prototipo C.1 in lega di alluminio dopo il taglio



**1.21** Elementi del prototipo C.1 in lega di alluminio dopo la piegatura



**1.22** Prototipo C.1 in lega di alluminio una volta assemblato



## 2.1\_TEMA

*Sito:* Prati di Caprara Est, Bologna (44.502199, 11.319029).  
98800 mq di superficie ex-demaniale.

*Tema:* Progettazione di un parco dotato di attrezzature sportive integrato a spazi per la collettività e commerciali.

Il processo parte da un'approfondita analisi dei flussi di materia ed energia che permeano l'area di intervento, sia di tipo biologico/antropico (flussi pedonali, composizione demografica, alberature) che fisico-chimico (mappatura acustica dell'area, incidenza della radiazione solare). Creato questo quadro di fattori esogeni si prosegue introducendo in coerenza con esso le attività, con le rispettive proprietà peculiari, che dovranno essere garantite, individuate dalle necessità emerse dalla lettura del contesto e dalle indicazioni del PSC. Tali fattori endogeni andranno a loro volta a modificare l'ambiente in cui sono inseriti attraverso un processo intensivo come intensivi sono i fattori che su esso agiscono. Questa modificazione, per poter essere attuata, deve essere codificata in una serie di regole che andranno a creare un substrato coerente con cui poter organizzare il sistema materiale in relazione ai fattori cui è sottoposto.

Tale processo, essendo lo stesso che sottende a ogni tipo di generazione di sistema materiale di tipo biologico, non è altro che un tentativo di trasporre in architettura almeno una parte delle caratteristiche che rendono gli organismi biologici molto più efficienti di qualsiasi soluzione tecnologica, studiandone attentamente non la forma ma i processi di organizzazione e generazione della stessa.

Si entra in questo modo nel vivo del processo progettuale, portato avanti, grazie anche all'esclusivo utilizzo di strumenti parametrici, a tutte le scale contemporaneamente e con la possibilità di instaurare cicli di feedback capaci di aumentare le performance con un migliore sfruttamento delle risorse. Questa procedura di analisi, estrapolazione dei dati e loro riutilizzo nell'informazione delle geometrie è stata applicata sia a livello di analisi strutturale sia di analisi energetica. Nel primo caso si è andato a misurare le sollecitazioni relativamente a due diverse configurazioni tridimensionali della struttura, dalle quali si sono ricavati i dati che hanno stabilito la variazione di altezza degli elementi strutturali e le dimensioni delle ali di irrigidimento. Nel secondo caso è si sono sfruttati i dati della radiazione solare incidente sulla superficie esterna per regolarne le aperture. Si è così riuscito a configurare un sistema che presenta caratteristiche legate alle sue proprietà macro-

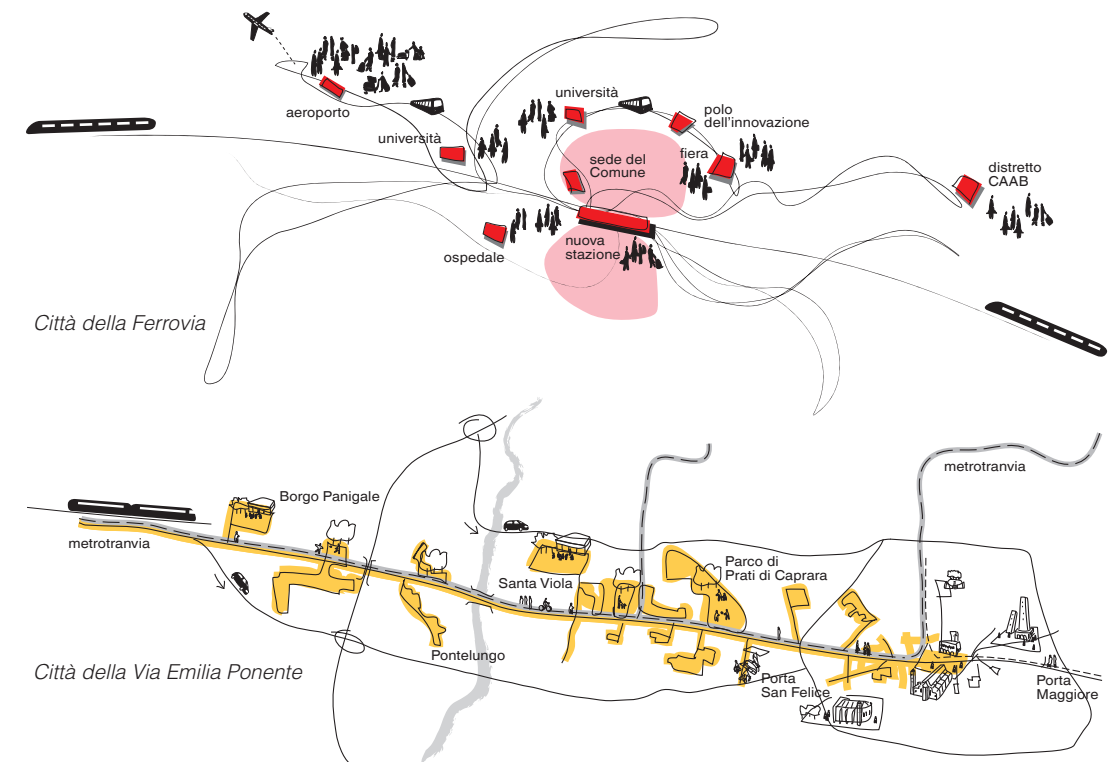
scopiche, come l'aumento della superficie del parco grazie alla continuità della membrana costituente l'involucro, e caratteristiche gestite localmente come la modulazione della radiazione solare che permea all'interno o la raccolta capillare delle acque piovane. Un sistema multiperformante, in definitiva, che come tale non persegue l'ottimizzazione di una singola proprietà ma una migliore prestazione di tutte contemporaneamente, dalla struttura portante al comfort, dal risparmio energetico all'andamento dei percorsi, dalla cantierizzazione all'acustica.

## 2.2\_INQUADRAMENTO

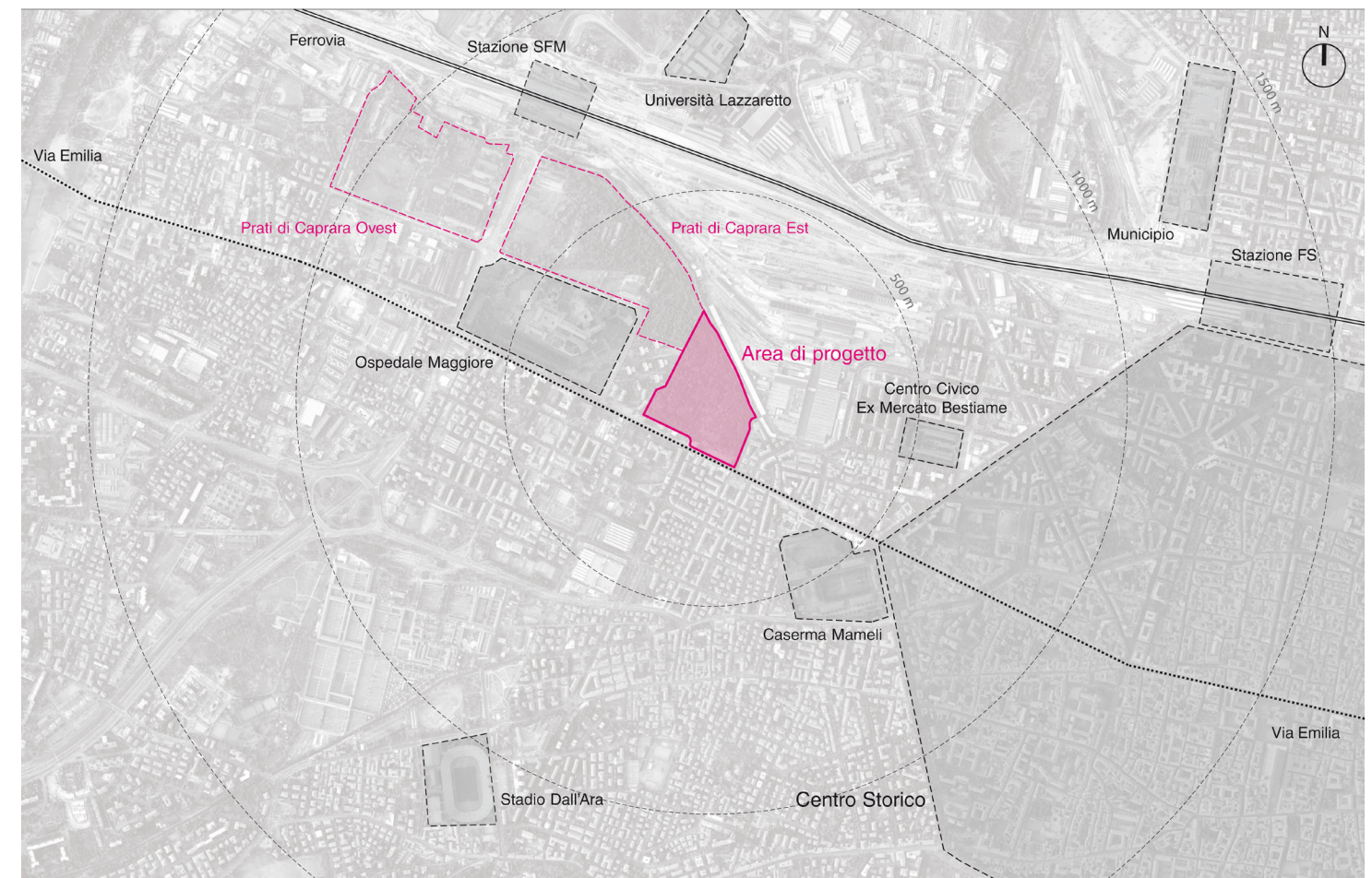
L'area di progetto corrisponde ad una parte dei "Prati di Caprara Est" a Bologna, una vasta area di circa 10 ettari adiacente alla Via Emilia e incastonata tra importanti polarità urbane, come l'Ospedale Maggiore e la nuova sede della Facoltà di Ingegneria, e snodi cardine del sistema della mobilità (Via Emilia, stazione ferroviaria suburbana, stazione della nuova metrotramvia).

### 2.2.1\_BOLOGNA E I PRATI DI CAPRARA

La città di Bologna e il suo sviluppo urbano hanno creato, nell'area denominata "Prati di Caprara", una condizione urbanistica particolare sotto tutti i punti di vista. La specifica posizione, schiacciata tra l'antico e frequentato tracciato della Via Emilia (Via Saffi) e la ferrovia, la posizione nevralgica nel sistema di connessioni centro-ferrovia-metropolitana-aeroporto insieme alla sua grande superficie (l'ambito dei Prati di Caprara Est e Ovest ricopre una superficie di 440000 mq) fanno di questo luogo un punto cardine del PSC e in generale della città di Bologna. Proprio nella suddivisione, introdotta dal PSC, della città di Bologna in "Sette Città", l'area in questione viene considerata due volte in due sistemi differenti. La sua ristrutturazione si trova infatti inserita sia tra gli interventi strategici della "Città della Ferrovia", il sistema a più alta vocazione connettiva e infrastrutturale del Piano, sia nella "Città della Via Emilia Ponente", un sistema più tipicamente urbano che si sviluppa verso ovest, in cui l'area risulta fondamentale come spazio disponibile per la realizzazione di un parco e di spazi per la collettività tutt'ora carenti nel quartiere. Un altro aspetto particolare di questa superficie sta nel fatto di essere stata utilizzata fino ad oggi come campo di addestramento militare e che con il piano di dismissione delle aree demaniali della città si trova a poter giocare un ruolo importante nei sistemi in cui è inserita. Questa spe-



2.1\_Schemi tratti dal Piano Strutturale Comunale della Città di Bologna raffiguranti i due sistemi in cui è coinvolta l'area dei Prati di Caprara



2.2\_Inquadrimento dell'area di progetto all'interno dell'ambito "Prati di Caprara" a Bologna con evidenziate le principali polarità urbane che orbitano intorno al sito e le infrastrutture Via Emilia e ferrovia. Scala 1:20000



cifica destinazione d'uso ha quindi evitato qualsiasi tipo di edificazione permanente e in generale lo sfruttamento dell'area nel corso del lungo sviluppo della città, il tutto nella prima fascia urbana al di fuori dei viali che circondano il centro storico e quindi in una posizione con grandi potenzialità.

2.2.2\_ANALISI DEL SITO

L'area dei Prati di Caprara appartiene e copre una considerevole superficie del quartiere Porto, che si estende ad ovest del centro storico della città di Bologna.

Sistema Antropico

Secondo il Bilancio Sociale del Quartiere Porto (redatto dal Comune di Bologna ed aggiornato al 2009), Porto è il quartiere più piccolo di Bologna, ma il più densamente popolato. Su di una superficie di 3,721 kmq. (il 2,6% del territorio cittadino) sono infatti residenti 31.407 abitanti, l'8,4% della popolazione bolognese. Dagli anni novanta ad oggi Porto ha visto diminuire la propria popolazione del 13%, più della città di Bologna nel suo complesso. Dei 31.407 abitanti di Porto, 16.833 sono donne; la percentuale di donne nel quartiere è dunque superiore a quella degli uomini (54% contro 46%) come sempre acca-

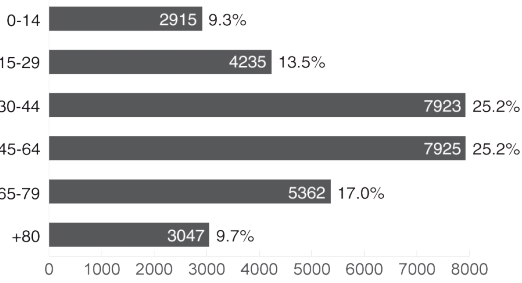
de quando si è in presenza di popolazioni con un numero rilevante di anziani. Bologna è infatti una delle città italiane dove più forte è stato il processo di invecchiamento e Porto, in particolare, è uno dei quartieri più "vecchi" della città. Se infatti consideriamo l'indice di vecchiaia (vale a dire il rapporto tra anziani e giovani nella popolazione), possiamo osservare come esso sia pari a 250,8 per Bologna e a 288,5 per Porto. Tali dinamiche e più in generale il quadro demografico del quartiere saranno presi come riferimento per poter avere una maggiore probabilità di corrispondenza con le necessità del quartiere, affiancando i dati analitici a quelli, già sintetici, del PSC e alla lettura ambientale del contesto. Mentre l'alto indice di anzianità della popolazione, ad esempio, evidenzia come sia importante inserire nel percorso progettuale la necessità di spazi per la collettività, di cui il quartiere è carente, l'alta densità di popolazione residente permette di cogliere e rinforzare la necessità, già espressa nel PSC, di procedere realizzando una bassa densità per lasciare più spazio al futuro parco. Alle differenti classi di età che emergono da questa analisi verranno poi associate specifiche attività attraverso le quali sarà possibile una definizione degli spazi per il loro svolgimento.

Quadro Strategico-Normativo

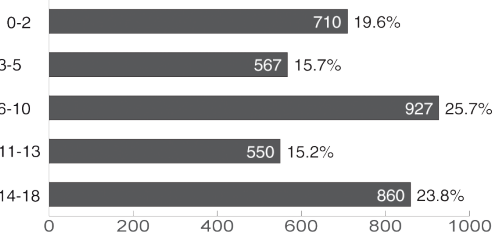
L'Ambito di sostituzione Prati di Caprara si trova in posizione strategica per garantire alla città una nuova dotazione di verde e servizi, che quindi deve risultare pienamente accessibile e fruibile. Per questo il Psc prevede che l'Ambito sia toccato nel suo perimetro, a sud e ad ovest, dalla linea 1 della metrotranvia, mentre all'estremità nord risulta delimitato dalla ferrovia che realizza qui sia una tratta ad alta velocità, sia il passaggio di ben 4 linee del Servizio ferroviario metropolitano. Parallela al fascio dei binari sarà realizzata anche la nuova sussidiaria alla via Emilia che

costituirà il confine settentrionale anche per l'Ambito Ravone. Importantissimi, in questo sistema, i nuovi parcheggi di scambio modale, come quello fra i 200 ed i 500 posti che sarà realizzato in prossimità dell'ingresso nord al parco e ne permetterà l'accesso anche tramite trasporto privato. Anche lungo la via Emilia sarà poi realizzato un nuovo parcheggio da 550 posti auto con funzioni specializzate per l'Ospedale Maggiore, da cui però si potrà accedere al parco. La rete ciclabile è qui già presente in adiacenza la percorso del Torrente Ravone, ma risulta importante connetterlo sia in direzione ovest, qualificando la Città della

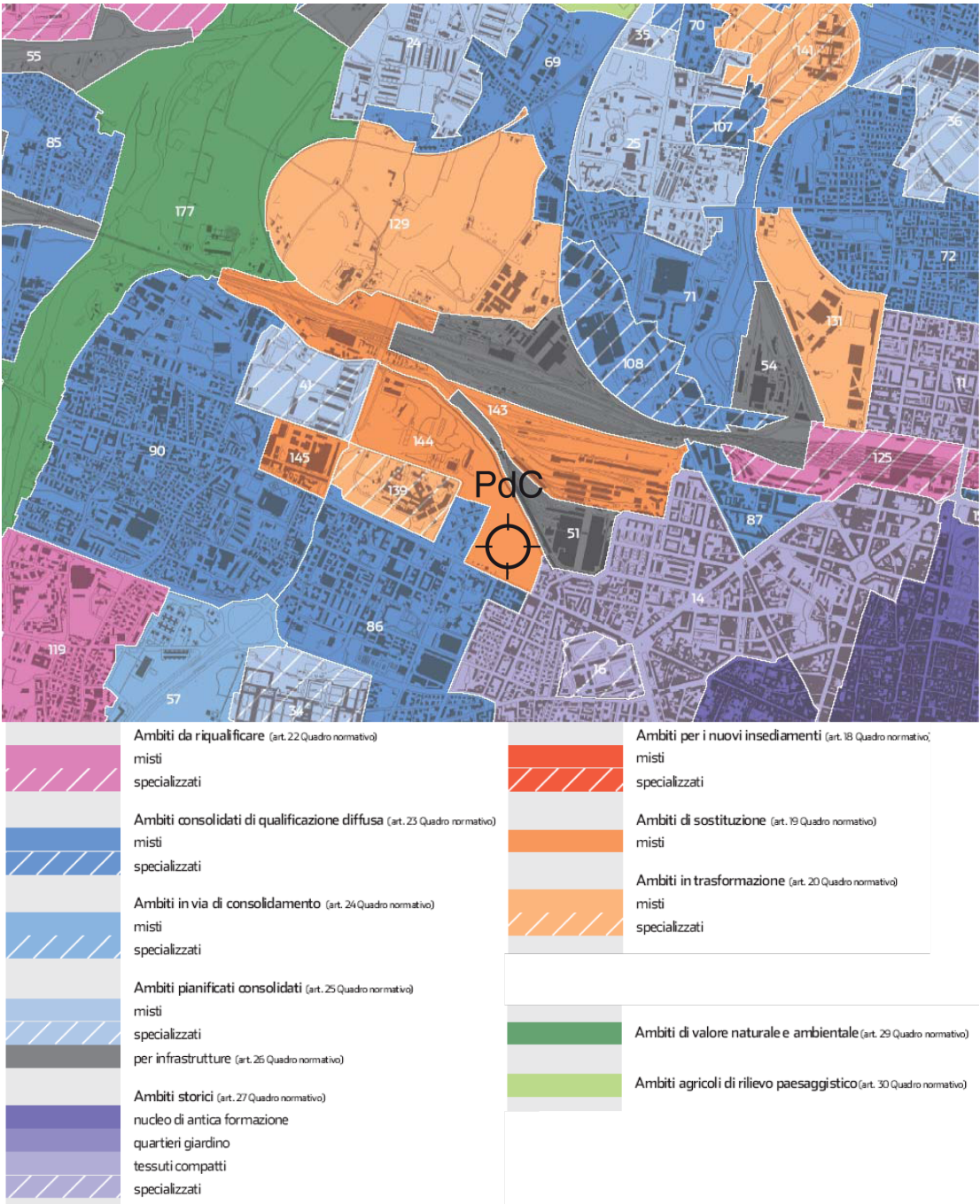
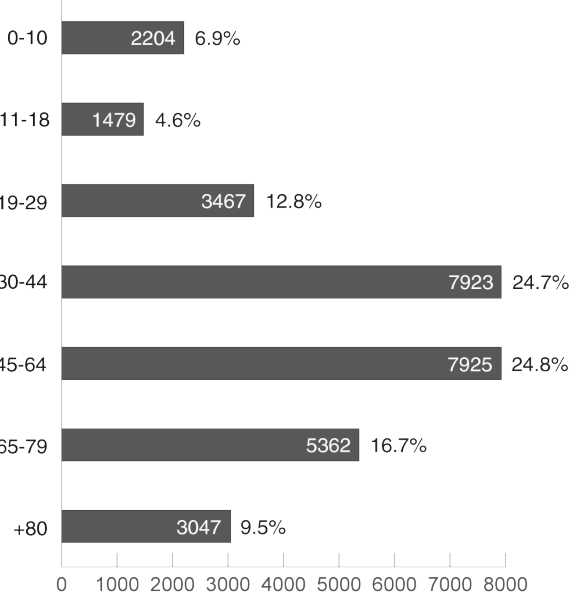
\_\_INCIDENZA ASSOLUTA E PERCENTUALE DELLE DIVERSE CLASSI DI ETA' NELLA POPOLAZIONE RESIDENTE



\_\_POPOLAZIONE RESIDENTE DA 0 A 18 ANNI



\_\_DENSITA' DI POPOLAZIONE RESIDENTE NEL QUARTIERE PORTO PER CLASSI DI ETA' ( totale: 32000 residenti)



2.4\_Suddivisione della superficie urbana in Ambiti estratta dal Quadro Normativo del PSC

2.3\_Composizione demografica del Quartiere Porto elaborata a partire dal Bilancio Sociale redatto dal Comune di Bologna



via Emilia Ponente, sia verso nord, in collegamento con il nuovo comparto in trasformazione Bertalia-Lazzaretto.

L'intero Ambito Prati di Caprara fa parte di quelle aree da acquisire tramite perequazione urbanistica ed accordi per realizzare una grande area a verde con attrezzature sportive che faccia da contrappeso ai Giardini Margherita e vada ad integrare la carenza di servizi qui rappresentati solamente dal parco del Velodromo. Immediatamente connesse all'Ambito, oltre alle aree ferroviarie dismesse al di là il Ravone, facenti parte dell'Accordo siglato il 18 luglio 2006 fra RFI, Comune, Provincia e Regione, c'è anche l'Ambito Sabiem su cui realizzare certamente la continuità dei percorsi. Si nota inoltre l'importanza dell'adiacenza al polo funzionale dell'Ospedale Maggiore che garantisce un servizio a scala metropolitana. Tramite la metrotranvia e lo scambio intermodale del trasporto pubblico, sarà garantita inoltre l'accessibilità alla nuova sede della Facoltà di Ingegneria al Lazzaretto, ma anche alla complessa rete di attrezzature e spazi collettivi diffusa in tutto il nucleo antico e direttamente connessa ai Prati di Caprara.

Per quanto riguarda le dotazioni ecologiche e ambientali si può sottolineare l'importanza dell'ecosistema terrestre esistente da preservare per la presenza consistente di biomassa. Occorre fare attenzione alle fasce ed ai corridoi di mitigazione per la viabilità di attraversamento (nuova sussidiaria alla via Emilia) e per le linee di trasporto pubblico in sede propria (metrotranvia). Ma bisogna anche riquilibrare alcune aree adiacenti, come l'area Sabiem e una parte dell'Ambito Ravone, in cui c'è da recuperare la permeabilità dei suoli. L'ecosistema ha una grande importanza sia come "polmone verde" particolarmente vicino al centro storico, sia come realizzazione di un connettivo ecologico verso il parco del Reno e il suo ecosistema fluviale.

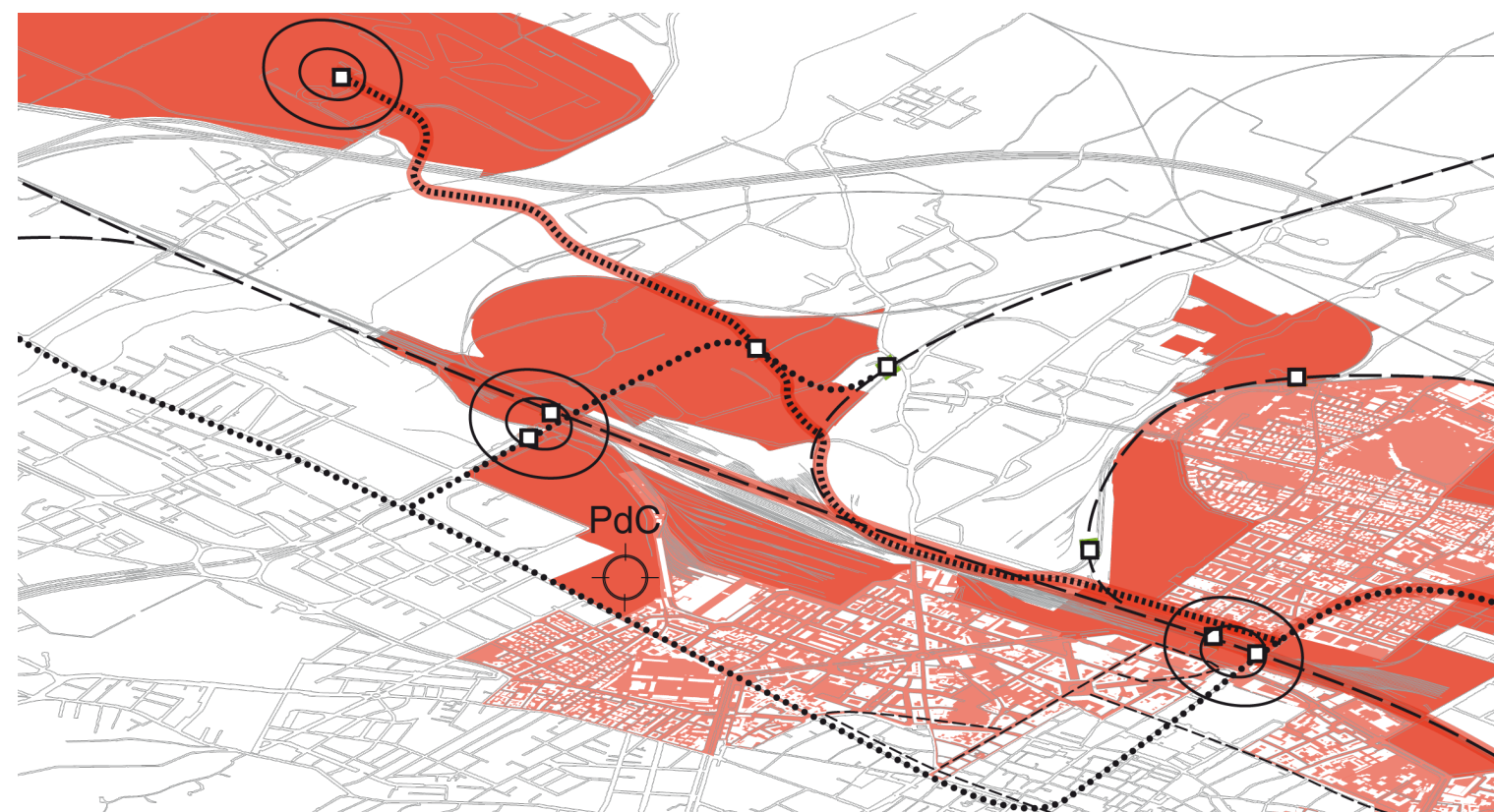
All'Art.19 del Quadro Normativo (PSC), per l'Ambito n.144 Prati di Caprara sono riportate le seguenti indicazioni:

#### a) Ruolo

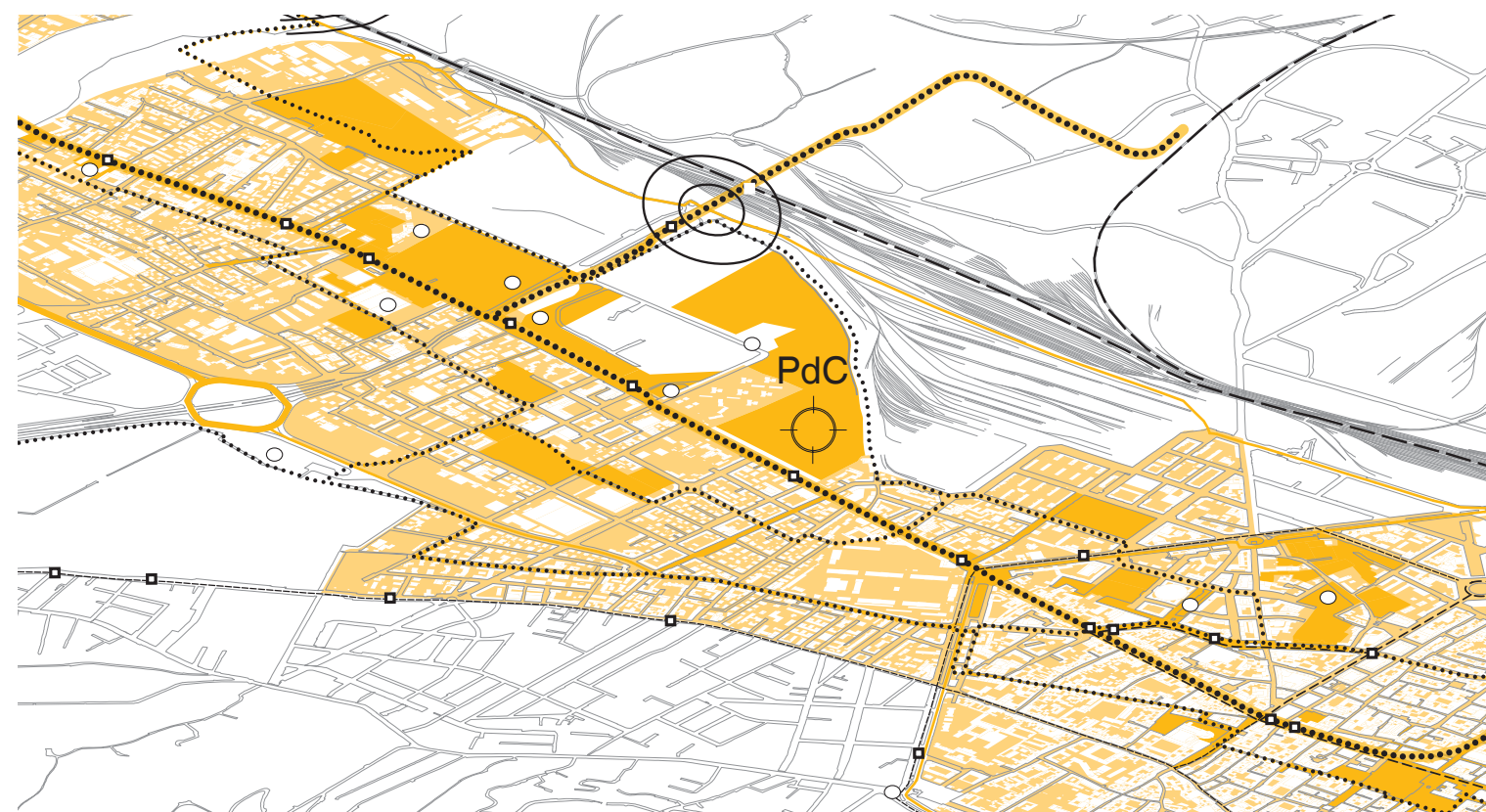
L'Ambito Prati di Caprara è uno dei "luoghi" della Città della Ferrovia, dove abitazioni e parco dovranno garantire l'integrazione funzionale e la compresenza di attività e pratiche d'uso a differenti scale. L'esistenza nell'area di vegetazione già sviluppata costituisce una risorsa rilevante per il sistema ecologico, da mantenere e curare realizzando un nuovo parco urbano. L'edificazione andrà concentrata nella parte dove la vegetazione è di minore rilievo, vicino alla stazione Sfm di Prati di Caprara.

#### b) Dotazioni

Infrastrutture per la mobilità. Parcheggi di attestamento e interscambio a servizio dell'Ambito e della stazione Sfm. Viabilità interna raccordata con la nuova strada sussidia-



2.5\_Città della Ferrovia



2.6\_Città della Via Emilia Ponente



ria nord-ovest della via Emilia. Percorsi ciclabili e pedonali con recapiti alla stazione Sfm Prati di Caprara, alle fermate della metrotranvia su via Saffi, al parco. Attrezzature e spazi collettivi. Spazi verdi e attrezzature sportive per servire l'intero quadrante urbano intorno a via Saffi. Dotazioni ecologiche e ambientali. Mantenimento e consolidamento della massa vegetativa e riqualificazione dei due canali, ad integrazione delle dotazioni del quartiere come il Parco del Velodromo e

le aree scolastiche a sud.

### c) Prestazioni

Per contribuire a raggiungere gli obiettivi di qualità urbana previsti per la Situazione Saffi, il nuovo insediamento dovrà garantire:

- la migliore integrazione del sistema di accesso alla stazione Sfm Prati di Caprara;
- la connessione dei percorsi ciclabili con quelli che portano verso la Manifattura delle Arti e il Centro civico ex Mercato bestiame.

### d) Condizioni di sostenibilità

L'attuazione è subordinata:

- al potenziamento del sistema di trasporto pubblico, in termini di capacità, frequenza e copertura del territorio;
- al mantenimento di una quota di superficie permeabile di suoli pari al 50% delle superfici fondiarie.

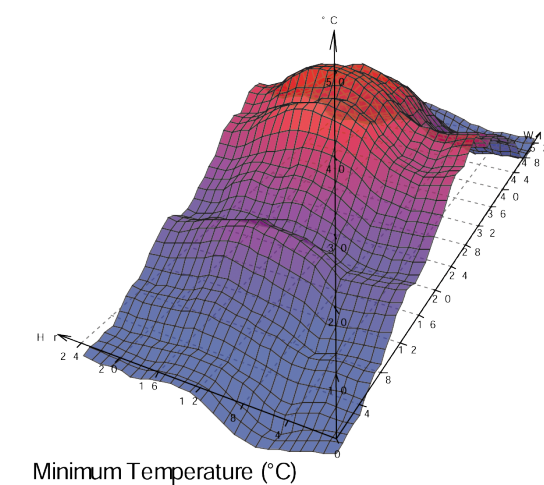
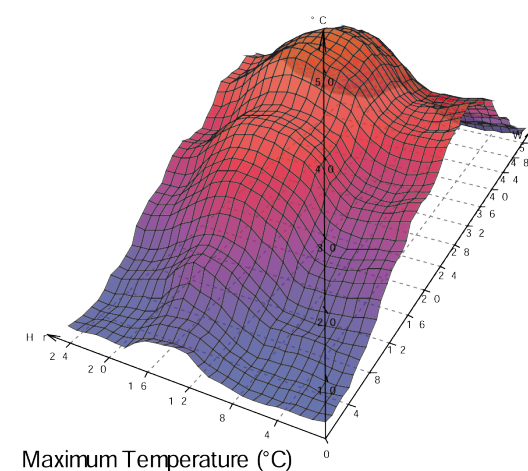
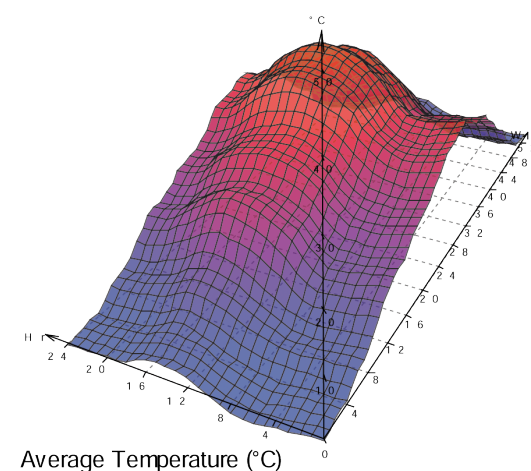
## Sistema Ambientale

### Fattori climatici

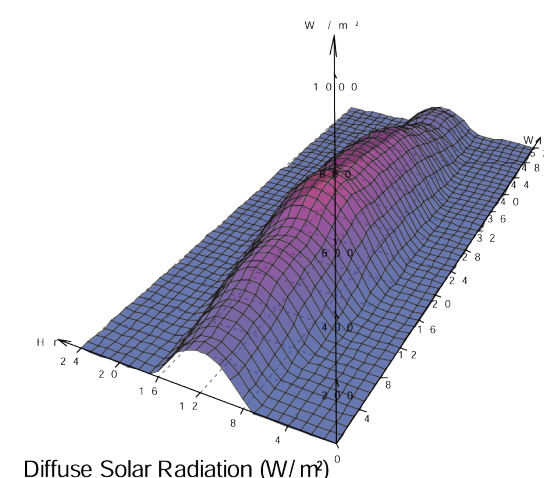
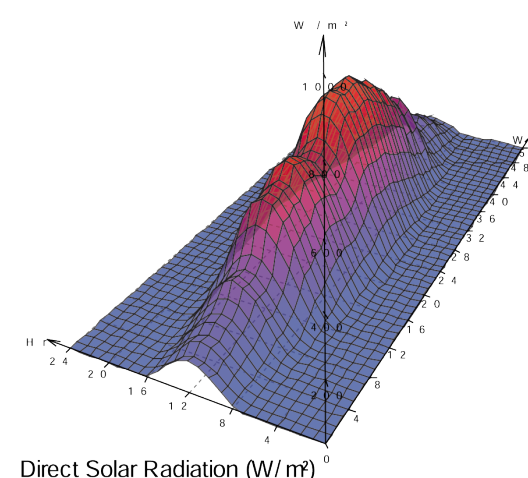
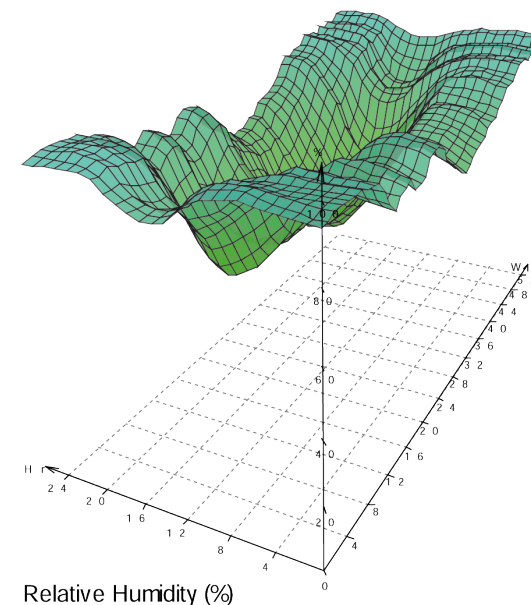
L'area di progetto si colloca nel quadro climatico della Pianura Padana, caratterizzato da un'ampia escursione termica annuale con temperature medie basse in inverno ed alte in estate. Va detto inoltre che, nella stagione fredda, le temperature minime possono attestarsi anche diversi gradi al di sotto dello zero nelle ore notturne, e talvolta permanere negative o prossime allo zero anche nelle ore centrali del giorno (specialmente in caso di nebbia); nella stagione invernale, infatti, proprio a causa del ristagno dell'aria le temperature massime si attestano su valori decisamente bassi. In estate invece le temperature massime possono toccare, in caso di anticiclone sub-tropicale, punte di 38 gradi o, talvolta, superiori. Un esempio di continentalità: nel 2003, con l'anticiclone subtropicale, sono stati toccati i 41°/43°; nel gennaio e nel dicembre 2009, grazie all'effetto albedo e all'inversione termica, si sono toccati i -12°/-14°. La presenza di ampie escursioni termiche ha condizionato l'individuazione di una strategia progettuale che potesse favorire il raggiungimento del comfort attraverso lo sfruttamento dell'inerzia termica che presenta naturalmente il terreno.



2.7\_Area di progetto fotografata dalla Via Emilia (Via Saffi).



2.8\_Grafici rappresentativi dell'andamento settimanale di temperatura, umidità relativa e radiazione solare durante l'anno. I dati visualizzati sono relativi alla stazione meteorologica di Borgo Panigale (BO).





Aria

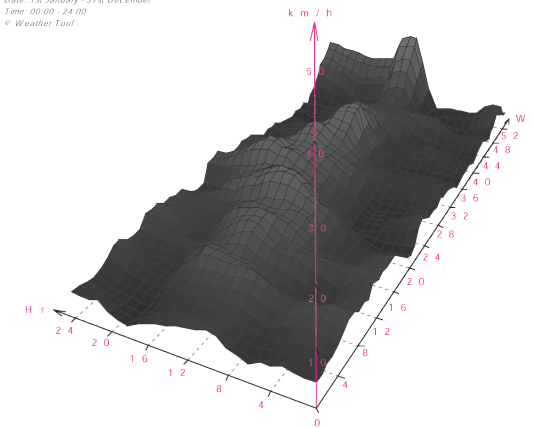
Come per gli altri fattori climatici, anche per il vento ci si colloca nel quadro climatico della Pianura Padana. Sempre a causa del ristagno d'aria negli strati più bassi dell'atmosfera, tipico di queste zone, la ventilazione risulta essere piuttosto bassa per quasi tutta la durata dell'anno. La qualità dell'aria nell'area di progetto risente della presenza, sul confine meridionale del sito, della Via Emilia (Via Saffi), importante arteria stradale che porta con sé un'alta concentrazione di anidride carbonica e polveri sottili. Anche per questo, oltre che per altre scelte di tipo funzionale e strutturale, si è scelto di seguire strategie progettuali che potessero creare configurazioni formali particolarmente aerodinamiche, che favoriscano la ventilazione e non generino sacche di aria stagnante. Una maggiore ventilazione potrebbe sicuramente migliorare la qualità dell'aria nella parte di progetto più vicina alla Via Emilia.

Habitat naturali

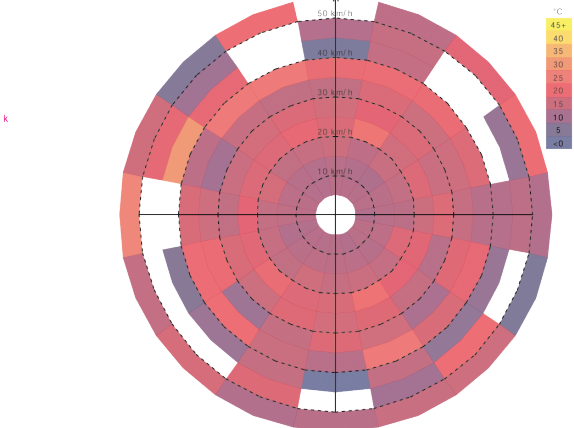
L'area di progetto presenta una considerevole quota di superficie coperta da fitta vegetazione. Per valutare le potenzialità della massa vegetale esistente, che il Piano Strutturale indica come "da mantenere e potenziare", è stato portato avanti un censimento delle alberature che ha però mostrato come la quasi totalità delle specie vegetali presenti ad oggi nell'area di progetto non siano adatte alla destinazione d'uso a parco pubblico. La vegetazione infatti si configura come una inestricabile macchia di specie infestanti, proliferatesi già prima degli anni di inutilizzo della superficie quando la destinazione ad area per esercitazioni militari non implicava una particolare cura del verde. Tali specie infestanti sono sia di tipo arboreo e arbustivo, principalmente *Robinia pseudoacacia* e *Ailanthus altissima*, che rampicante (*Hedera helix*, *Clematis vitalba*). E' da sottolineare, in un discorso più ampio riguardante tutta l'area dei Prati di Caprara, la presenza di alberature di pregio formanti un habitat da preservare nella parte a nord dell'Ospedale Maggiore, dove già trovano sede gli orti per gli anziani.

Prevailing Winds

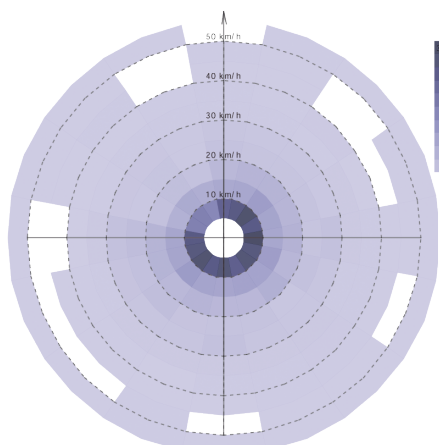
Location: Bologna Borgo Panigale, ITA (44.5°, 11.3°)  
Date: 1st January - 31st December  
Time: 00:00 - 24:00  
© Weather Tool



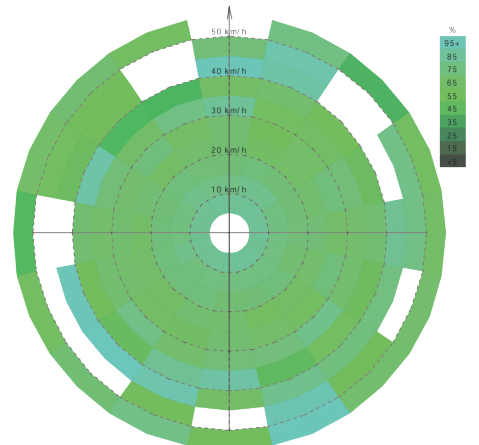
Average Wind Speed (km/h)



Average Wind Temperatures



Wind Frequency (Hrs)



Average Relative Humidity

2.9\_Grafici rappresentativi dell'andamento della ventilazione e delle sue caratteristiche durante l'anno solare. I dati visualizzati sono relativi alla stazione meteorologica di Borgo Panigale (BO).



2.10\_Mappatura delle essenze arboree nell'area di progetto. Censimento eseguito nell'ambito del Laboratorio di Architettura e Composizione Architettonica 3.

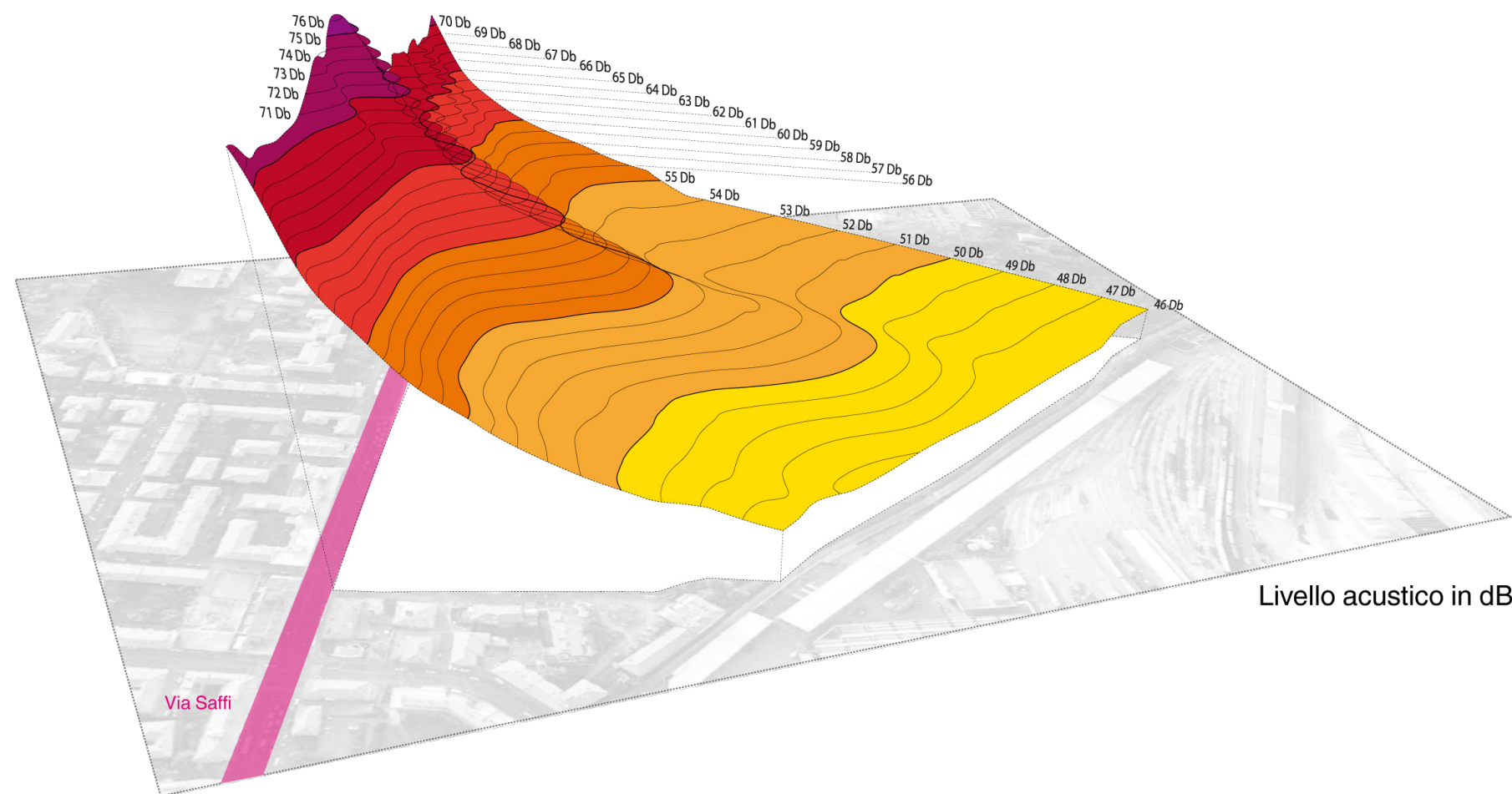
### Rumore

I dati disponibili sul Livello Acustico Equivalente (A), ricavati dalla mappatura eseguita dal Comune di Bologna, mostrano come l'area di progetto presenti una evidente criticità nella parte più vicina al confine su Via Saffi, a cui sicuramente contribuisce la compattezza e l'altezza degli edifici sul lato sud.

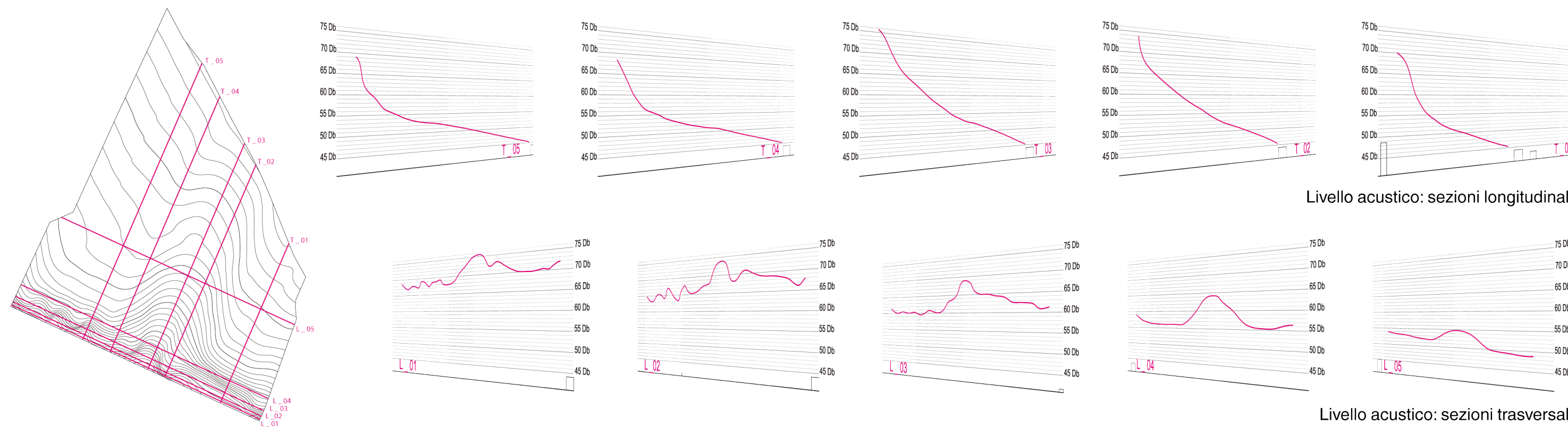
Per le zone residenziali, il Nuovo regolamento per la prevenzione e il controllo dell'inquinamento acustico prodotto da sorgenti rumorose fisse o correlate a servizi prevede che non si possa superare il valore limite di 60 dB(A) nelle ore diurne, valore che viene però superato nella fascia prossima a Via Saffi e in particolare in corrispondenza dell'attraversamento semaforico con Via del Timavo, posto in posizione centrale rispetto al confine meridionale dell'area di progetto.

Va tenuto in considerazione che lo scenario futuro, con la realizzazione della metrolinca e quindi l'alleggerimento del carico veicolare di Via Saffi, prevede un abbassamento del livello acustico, anche se di difficile quantificazione pratica.

Queste considerazioni saranno elementi importanti nella scelta di una strategia progettuale che possa mitigare l'effetto negativo di un così alto rumore in una parte di città che si appresta a diventare un parco pubblico con spazi per la collettività e quindi luogo di relax e socialità.



2.11\_Livello acustico equivalente diurno espresso in dB(A) relativo all'area di progetto. Dati ricavati dalla mappatura acustica eseguita dal Comune di Bologna



2.12\_Sezioni ottenute dal grafico tridimensionale sul Livello acustico equivalente diurno espresso in dB(A) relativo all'area di progetto. Dati ricavati dalla mappatura acustica eseguita dal Comune di Bologna



## 2.3\_STRATEGIE

### Continuità e territorio

Nella ricerca e scelta di strategie che potessero guidare il processo morfogenetico un punto saldo è stato il riconoscimento di una possibile analogia tra architettura e territorio, i cui l'edificio (l'interfaccia tra utente e ambiente) modifichi il territorio piuttosto che consumarlo. I vantaggi ottenibili vanno dall'aumento della superficie disponibile a , cosa fondamentale, una coerente integrazione tra progetto e ambiente. Anche riguardo all'accessibilità da parte di velocipedisti o persone con limitate capacità motorie risulta evidente il vantaggio intrinseco di un approccio di questo tipo.



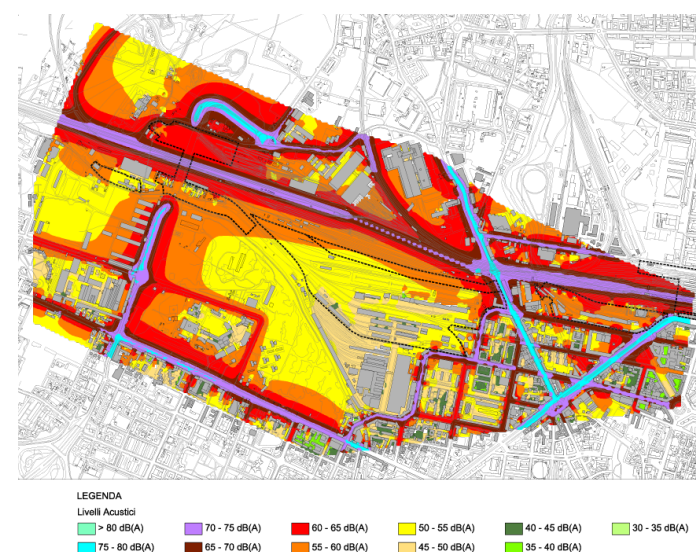
2.13\_Torre per le telecomunicazioni, proposta di 2a+p



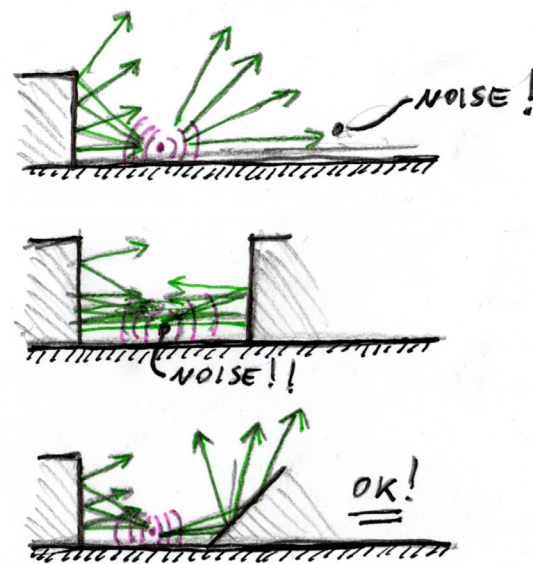
2.14\_Modello del Centro Culturale della Galizia, Peter Eisenmann

### Protezione acustica

Il dato ambientale più significativo in quelli analizzati, significativo perchè di più pesante impatto sull'ecosistema urbano in prossimità dell'area di progetto è l'inquinamento acustico causato dal flusso veicolare lungo Via Saffi. La compattezza e l'altezza del fronte strada prospiciente l'area in oggetto riflette le onde sonore in direzione del futuro parco e causa un forte aumento dell'eco anche lungo il tracciato, moto frequentato anche da pedoni, della strada. Nel processo progettuale si porrà una particolare attenzione ad innescare dinamiche morfogenetiche che producano possibilmente forme che evitino l'aumento del livello acustico sulla strada e possano proteggere la superficie del parco da questa criticità.



2.15\_Mappatura acustica, Comune di Bologna



2.16\_Schizzo della relazione tra fronti strada e propagazione del suono

### Struttura

Le strutture sono fondamentali per qualsiasi tipo di manifestazione materica: la struttura è l'organizzazione materiale insostituibile ed ultima di qualsiasi forma. Nel procedere con l'organizzazione di un processo che debba necessariamente creare struttura per poter fornire un supporto agli organismi architettonici che andremo a progettare, si è tenuto conto di alcune soluzioni che si sono rivelate portatrici di importanti qualità al progetto.

#### Closest packing

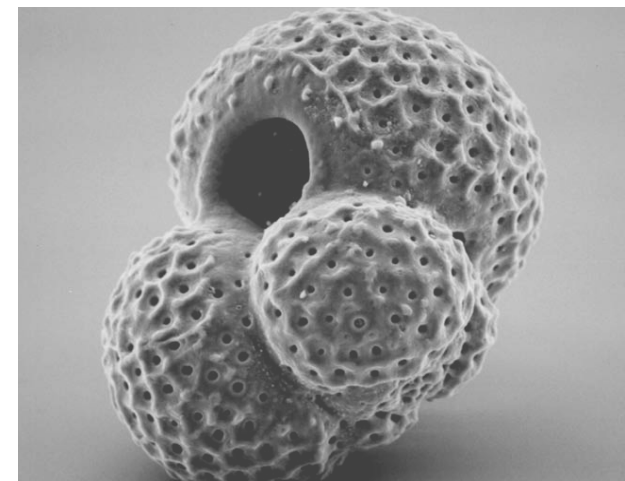
Dalla regolarità della struttura dell'alveare alla complessità e differenziazione dello scheletro di alcune radiolarie questa configurazione presenta ottime caratteristiche strutturali e capacità di differenziazione. I centri delle sfere in una configurazione di questo tipo si trovano sui vertici di tetraedri il più regolari possibile, generando una forte resistenza alle sollecitazioni della struttura.

#### Algoritmo di voronoi e triangolazione di Delaunay

Dato un numero di punti, l'algoritmo di voronoi genera celle contenenti un solo punto e le cui pareti sono il luogo dei punti equidistanti dai due punti considerati. La triangolazione di Delaunay è il suo duale. Mentre il passaggio da un pattern al suo duale permette di modulare porosità e resistenza strutturale della membrana (accessi), la precisa corrispondenza tra le due topologie rappresenta una possibilità strutturale notevole. Le strutture generate nelle tre dimensioni sono fortemente ridondanti

#### Curvatura e piega

Caratteristiche morfologiche in grado di fornire una elevata resistenza strutturale.



2.17\_Foraminifera

### Omeostasi

Per ottenere un progetto che possa dimostrarsi un buon regolatore dei processi di equilibrio dinamico dell'ambiente circostante si sono tenute in considerazione alcune strategie utilizzate dagli organismi biologici per il raggiungimento di un'elevata efficienza:

#### Gerarchie multilivello e controllo locale

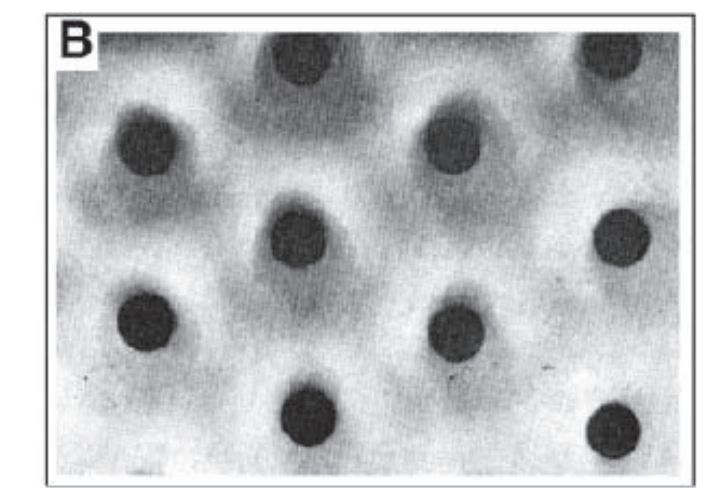
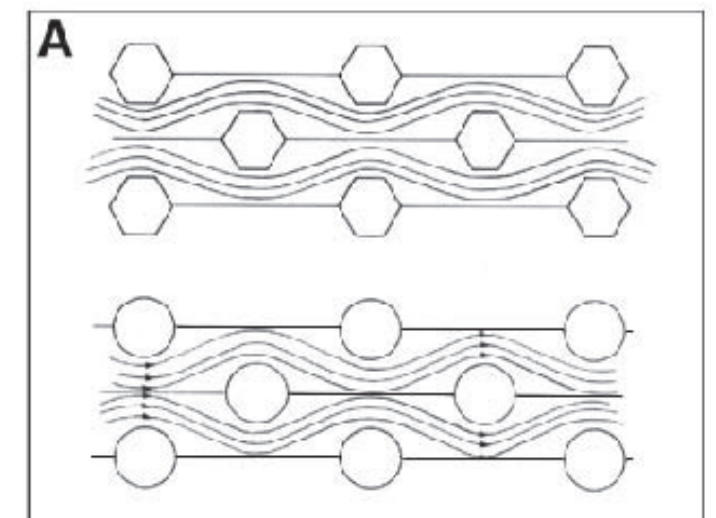
Strategie di multiperformance optimization

#### Inerzia termica

Importante apporto passivo e quindi energeticamente efficiente all'omeostasi

#### Regolazione dei flussi d'aria e raccolta delle acque

Il closest packing è anche un pattern ottimale per la distribuzione di flussi: la distribuzione dei pori lungo una superficie segue lo stesso principio.



2.17\_Superficie porosa



## 2.4\_PROCESSO

Individuate le strategie che guideranno le decisioni progettuali, si procede nell'organizzazione di un processo inteso come struttura di relazioni e regole capaci di interpretare il flusso di dati durante la generazione delle forme, discretizzato in step relativi ad ogni singola routine di trasformazione dei dati.

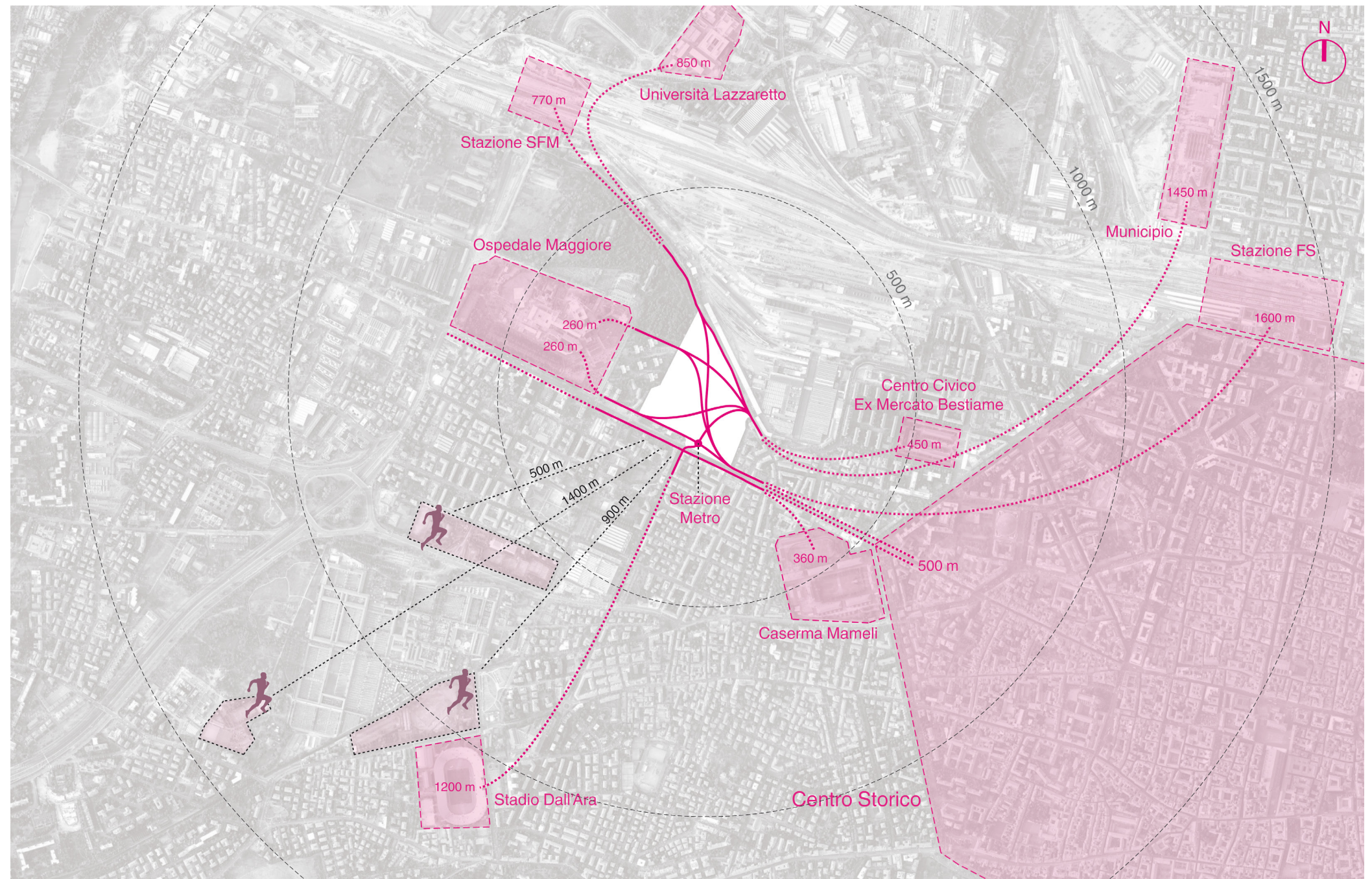
### 2.4.1\_ELABORAZIONE DEL PROGRAMMA

Gli input di questa fase del processo sono i dati estrapolati dalla lettura dei sistemi in cui è integrata l'area di progetto svolta precedentemente. Una prima fase di interpretazione dei dati è consistita nell'individuazione dei due principali fattori che andranno a determinare lo scheletro urbanistico dell'intervento: i flussi che attraversano l'area e le attività che saranno inserite.

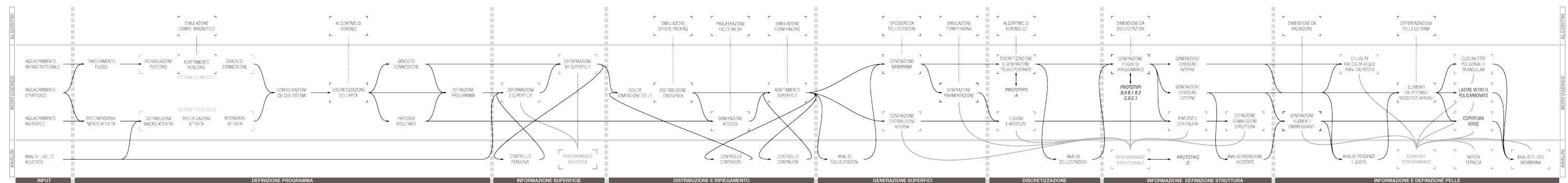
Prima di studiare come questi fattori interagiscano per poter discretizzare la superficie al fine di assegnare gli spazi alle attività più adatte, si è deciso di operare su questi due fattori in maniera indipendente in modo da riuscire più agevolmente a compiere delle azioni di trasformazione e definizione tenendo conto delle forze in gioco.

### Flussi

L'analogia con le forze è utile per introdurre come si è sviluppato il primo di questi due processi di trasformazione, quello relativo alla manipolazione dei percorsi, in quanto si è scelto di operare deformando in vari passaggi le curve di attraversamento dell'area come se fossero sottoposte ad un campo intensivo di forze. Operativamente, si sono innanzitutto individuati i principali luoghi di accesso all'area e sono stati tracciati i percorsi "minimi" di attraversamento (praticamente le vie più brevi che collegano i punti notevoli di accesso con la condizione di mantenere un certo grado di continuità), utili per avere un'idea di come si configurerebbero i flussi se l'area fosse attraversabile da persone che

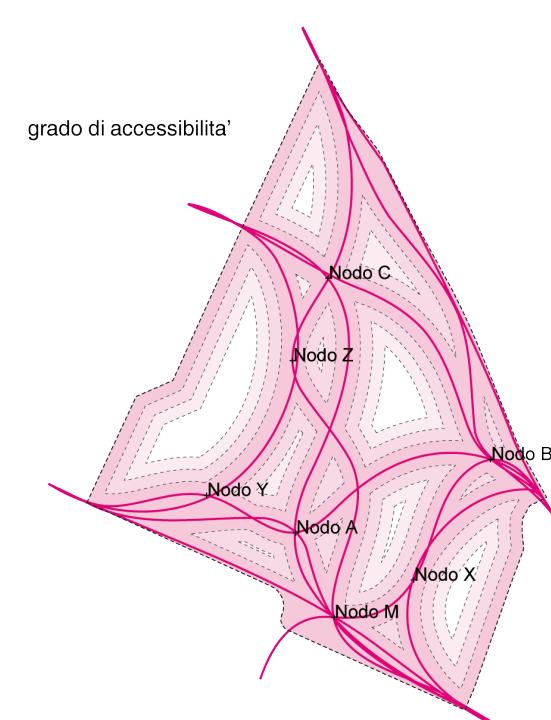
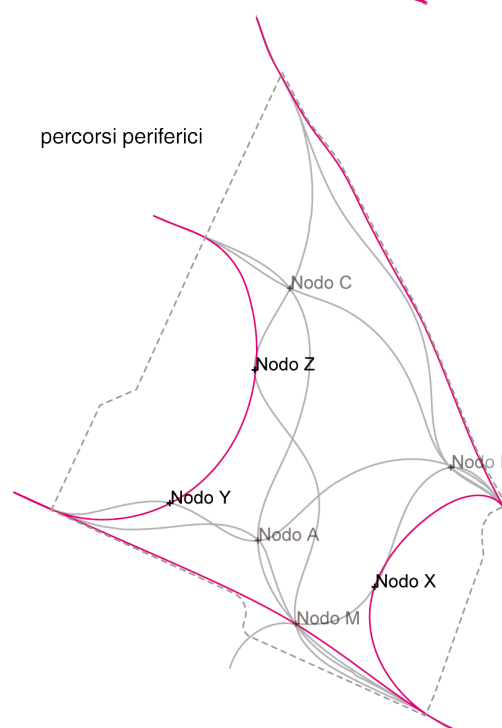
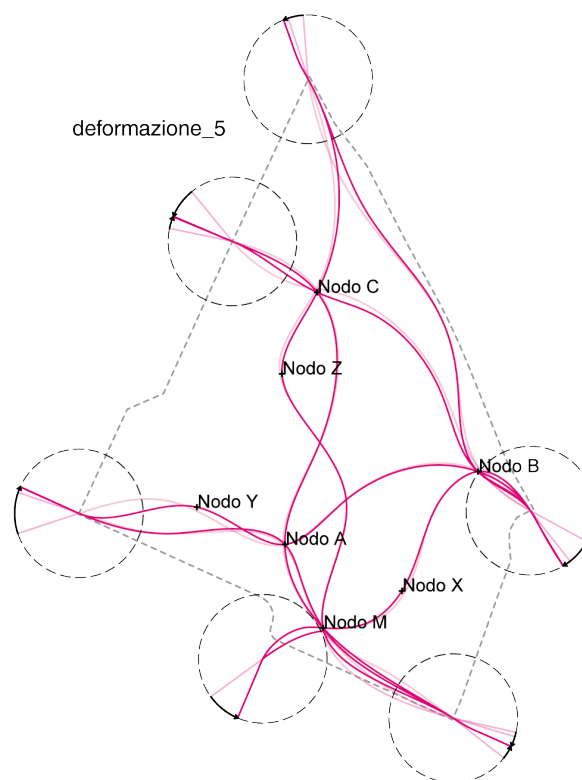
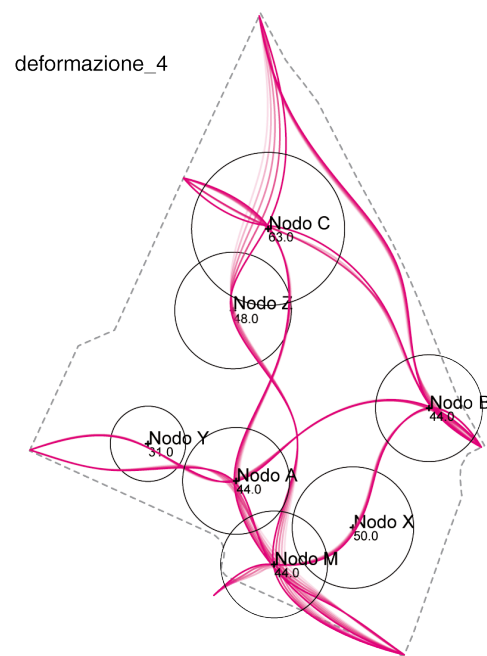
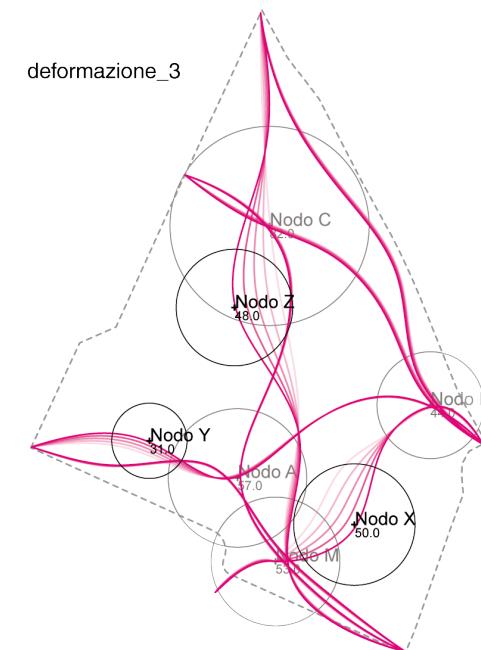
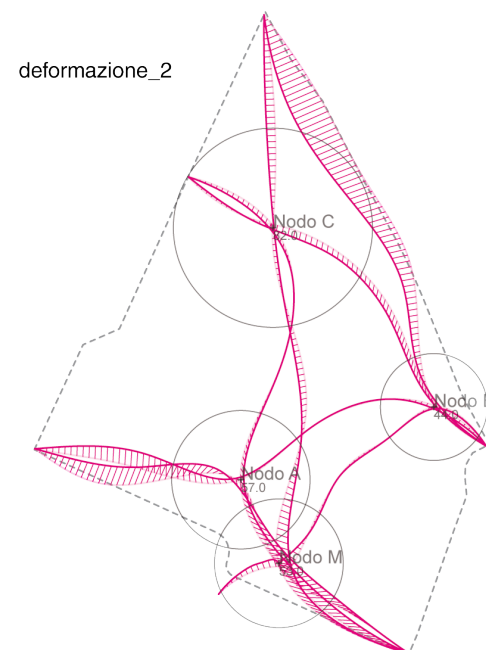
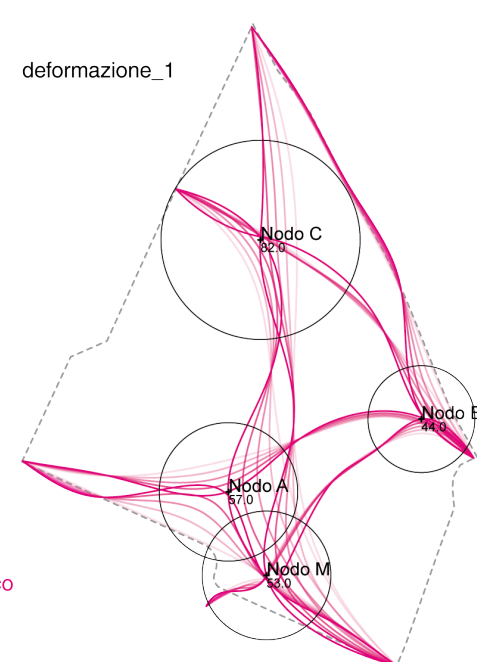
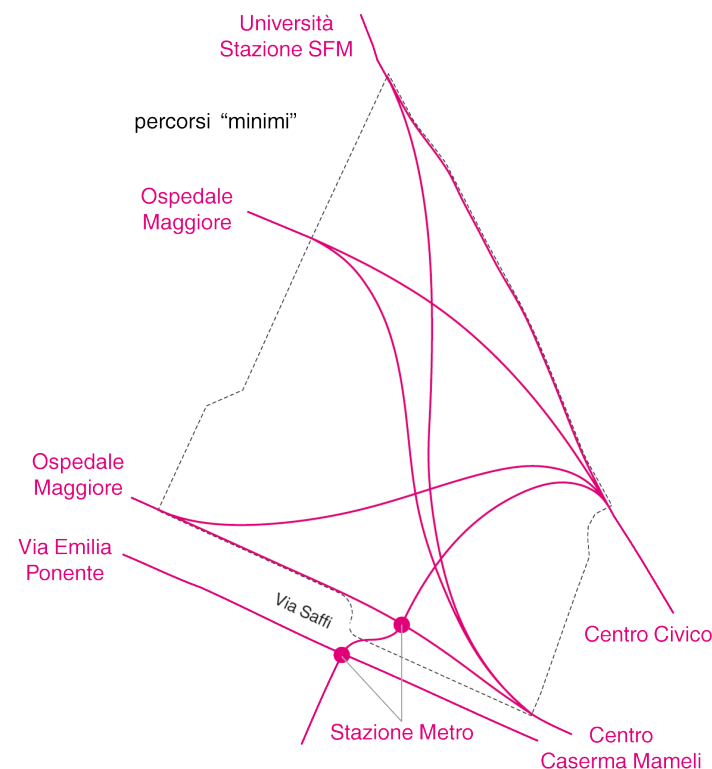


**2.18** Schema riassuntivo delle dinamiche urbane, individuate nella fase di analisi, che interagiscono con il sistema quali polarità e centri sportivi. All'interno dell'area sono stati tracciati i relativi percorsi "minimi" di attraversamento.



**2.19** Processo nella sua configurazione finale





debbano raggiungere una meta precisa senza permanere nell'area. Successivamente si sono introdotti delle cariche, attrattive e repulsive, che hanno influito sui percorsi modificandone l'andamento. Tali cariche, analogia del modello di form finding per luoghi di incontro e aggregazione all'interno dell'area, sono state inserite in step successivi a seconda della gerarchia di connessione cercata. Anche la magnitudo delle cariche è stata scelta, in un processo per tentativi permesso dalla visualizzazione del risultato in tempo reale, sulla base di una specifica gerarchia. A questi step è stato frapposto un ulteriore passaggio, caratterizzato da forze repulsive assegnate alle barriere fisiche che vincolano il progetto, inserito per evitare l'attraversamento di limiti invalicabili durante le varie deformazioni. Il quinto step modifica la direzione dei vari percorsi inserendo una condizione di tangenza con i percorsi già esistenti all'esterno dell'area, importante per ottenere percorsi che siano adatti all'utilizzo per piste ciclabili (che è preferibile abbiano raggi di curvatura non inferiori ai 15 metri). Ai percorsi così ottenuti vengono aggiunti a questo punto i percorsi periferici, che concludono il reticolo dei percorsi principali.

Il reticolo ottenuto presenta alcune caratteristiche ricercate ed ottenute attraverso la simulazione al computer. La modifica dei percorsi grazie a un campo di forze intensive ha generato curve fluide con continuità di tangenza e

quindi predisposte a diventare tracciati per piste ciclabili, sono presenti nodi che creano un sistema gerarchico di luoghi adatti all'incontro, punti cardine del reticolo dei percorsi e delle relazioni. Questi luoghi di densificazione sono naturalmente il terreno più adatto per luoghi strategici come l'accesso alla metrotramvia, i parcheggi interrati o un sistema di piazze coperte. Il network ottenuto, inoltre, discretizza lo spazio in aree ad alta differenziazione, alcune fortemente influenzate dalla vicinanza di uno o più

percorsi, altre in zone più lontane e riparate. Anche questa differenziazione, graficizzata nel disegno "grado di accessibilità" si potrà rivelare utile nella prossima fase, in cui le varie attività saranno distribuite anche in funzione della vicinanza o meno dai percorsi.

2.20 Processo di deformazione dei percorsi e grado di accessibilità risultante

### Attività

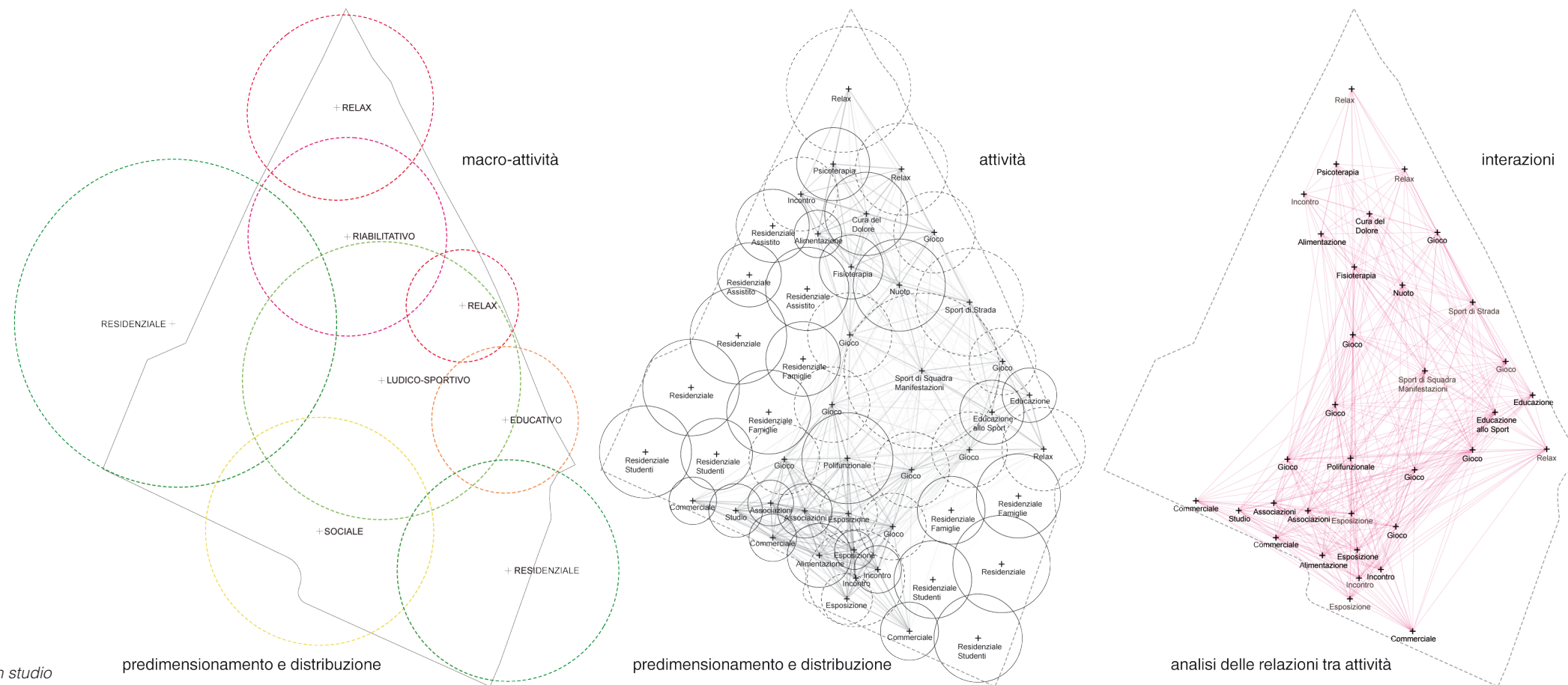
Parallelamente alla configurazione dei percorsi, si è portato avanti un processo di definizione delle attività da inserire nel progetto, in coerenza con la lettura del contesto fatta in precedenza. Facendo riferimento ai dati disponibili, dall'inquinamento acustico ai rapporti di vicinanza con l'Ospedale Maggiore piuttosto che la via Emilia, si sono scelte le macro aree ritenute più idonee per gli specifici tipi di destinazioni d'uso necessarie.

Individuate le macro aree, si è andato a studiare più nel dettaglio le specifiche attività da inserire nel progetto, scindendo le macro aree in porzioni più piccole e posizionando l'attività nel rispetto dei cerchi di interazione delle macro attività e delle loro intersezioni.

Il reticolo di interazioni tra attività che si è potuto ottenere analizzando la distanza con cui, attraverso questo processo, si sono distribuite le attività. E' proprio questo reticolo che, come sistema topologico è stato adattato al reticolo geometrico dei percorsi tracciato in precedenza.

Le attività così distribuite hanno il vantaggio di essere già inserite all'interno della rete dei percorsi con una intrinseca coerenza nella distribuzione nell'area per come si configurano le relazioni tra attività.

2.21\_Processo di definizione e distribuzione delle attività con studio delle relazioni di vicinanza tra le attività individuate

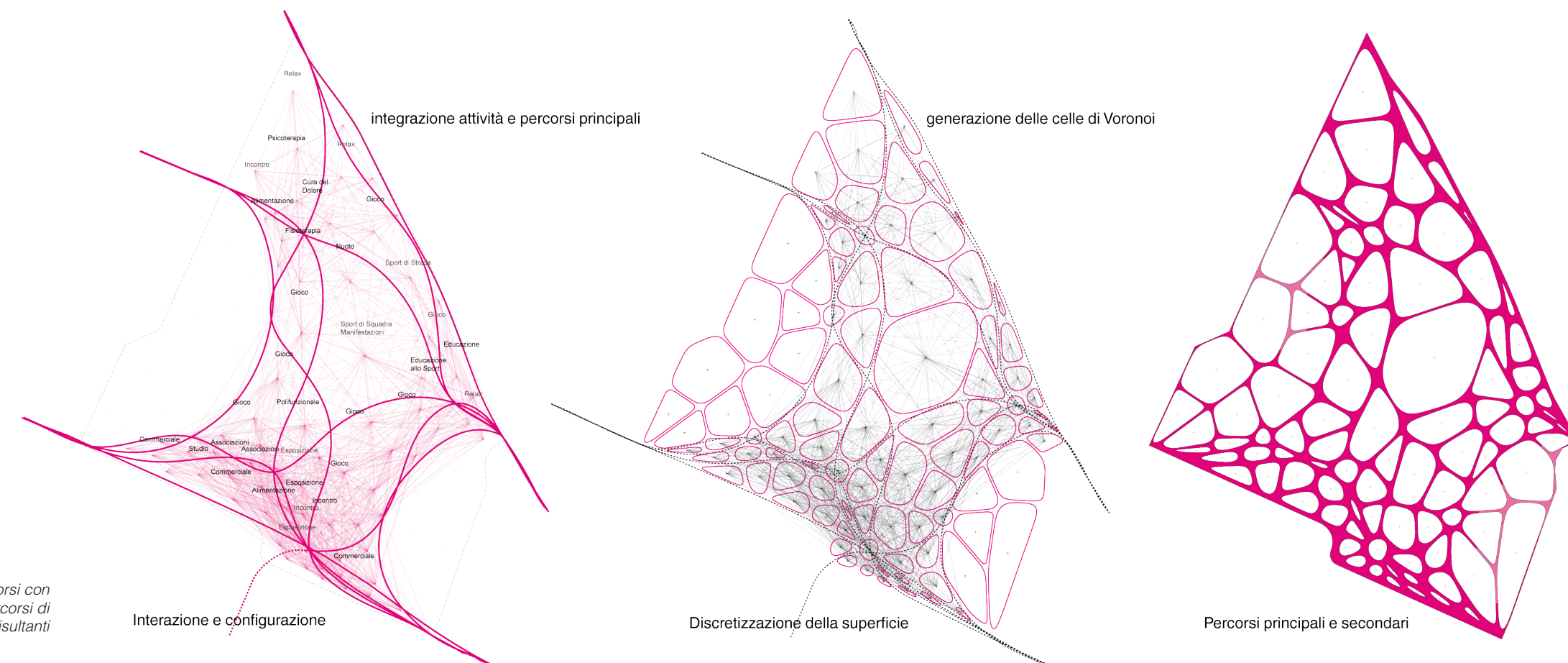


A questa distribuzione si è scelto di applicare, per la discretizzazione dello spazio al fine di assegnare a ciascuna un'area specifica, la decomposizione dovuta all'applicazione dell'algoritmo di Voronoi. L'algoritmo, che sarà utilizzato anche per altre fasi della progettazione, applicato al caso planare si può citare come segue:

*Dato un insieme finito di punti  $S$ , il diagramma di Voronoi per  $S$  è la partizione del piano che associa una regione  $V(p)$  ad ogni punto  $p$  in modo tale che tutti i punti di  $V(p)$  siano più vicini a  $p$  che ad ogni altro punto in  $S$ . (Wikipedia)*

Una regola semplice, esclusivamente dipendente dalla posizione dei punti sul piano, che però sviscera caratteristiche che nel nostro caso erano già presenti nella loro distribuzione. Il pattern che emerge, con celle di dimensioni differenti e coerenti con l'andamento dei percorsi, è già di per se una prima differenziazione dello spazio; differenziazione che si coglie anche dalla larghezza delle aree tra le celle.

2.22\_Processo di distribuzione delle attività nel reticolo dei percorsi con successiva discretizzazione tramite algoritmo di Voronoi e percorsi di secondo ordine risultanti





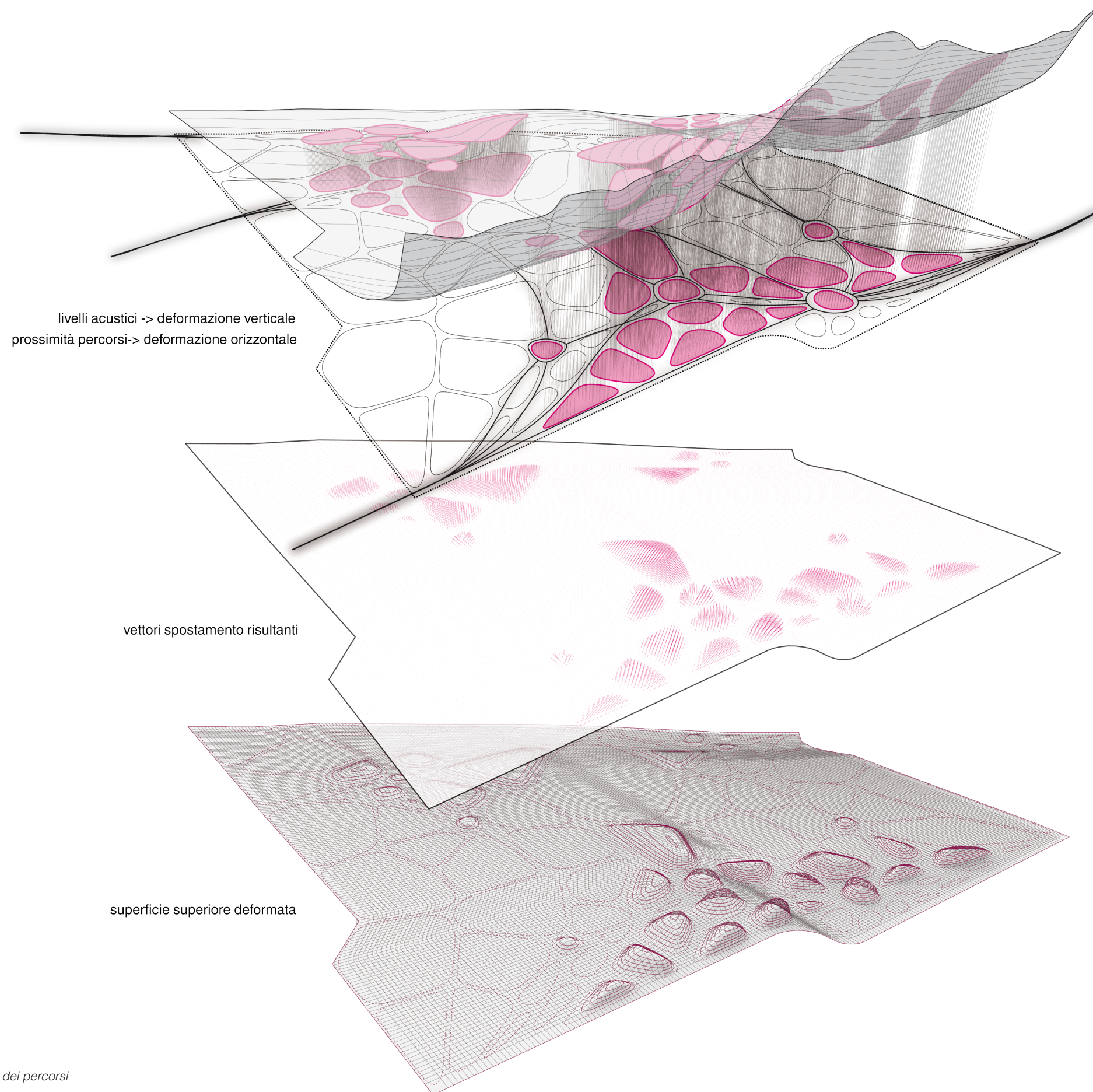




## 2.4.2\_GENERAZIONE DELLA SUPERFICIE

Determinato il programma si procede con la deformazione della superficie del terreno al fine di creare lo spazio per gli ambienti. Questo passaggio permetterà di ottenere spazi coperti senza diminuire drasticamente la superficie del parco, creando differenziazioni di esposizione e pendenza che potrebbero dare luogo a nuovi utilizzi e comportamenti non necessariamente preventivati. Uno di questi utilizzi è rappresentato dall'uso delle coperture come pendenze per seguire le attività che saranno praticate nei campi sportivi integrati al parco.

Il processo di deformazione è anche in questo caso di tipo intensivo e tiene conto del livello acustico per quanto riguarda la componente verticale del vettore spostamento mentre la componente orizzontale è proporzionale, per ogni punto, alla distanza dal percorso più vicino e diretta verso quest'ultimo. Il vettore formato dalle due componenti orizzontale e verticale tende a spostare la protuberanza verso il percorso più vicino creando un fronte più ripido. Tale caratteristica rende più facile la generazione degli accessi agli ambienti e permette di ottenere dalla parte opposta una pendenza minore, adatta alla fruizione.



2.27\_Deformazione della superficie proporzionalmente al livello acustico rilevato e alla prossimità dei percorsi



## 2.4.3\_GENERAZIONE DELLA MEMBRANA

Per la generazione di una membrana formata da componenti che rispettino predeterminate caratteristiche dimensionali e siano disposti in una reticolo con intrinseche capacità strutturali si è rivelata utile la simulazione del processo di sphere packing sulla superficie ottenuta nella fase precedente. Si è avviata la simulazione scegliendo come raggio delle sfere una lunghezza pari ad un metro. La simulazione è stata portata avanti deirtamente dentro il software Rhnuceros attraverso il physical engine Kangaroo che implementando le leggi che governano la fisica ha permesso questo processo di form finding simulando forze di attrazione e repulsione tra i centri delle sfere e

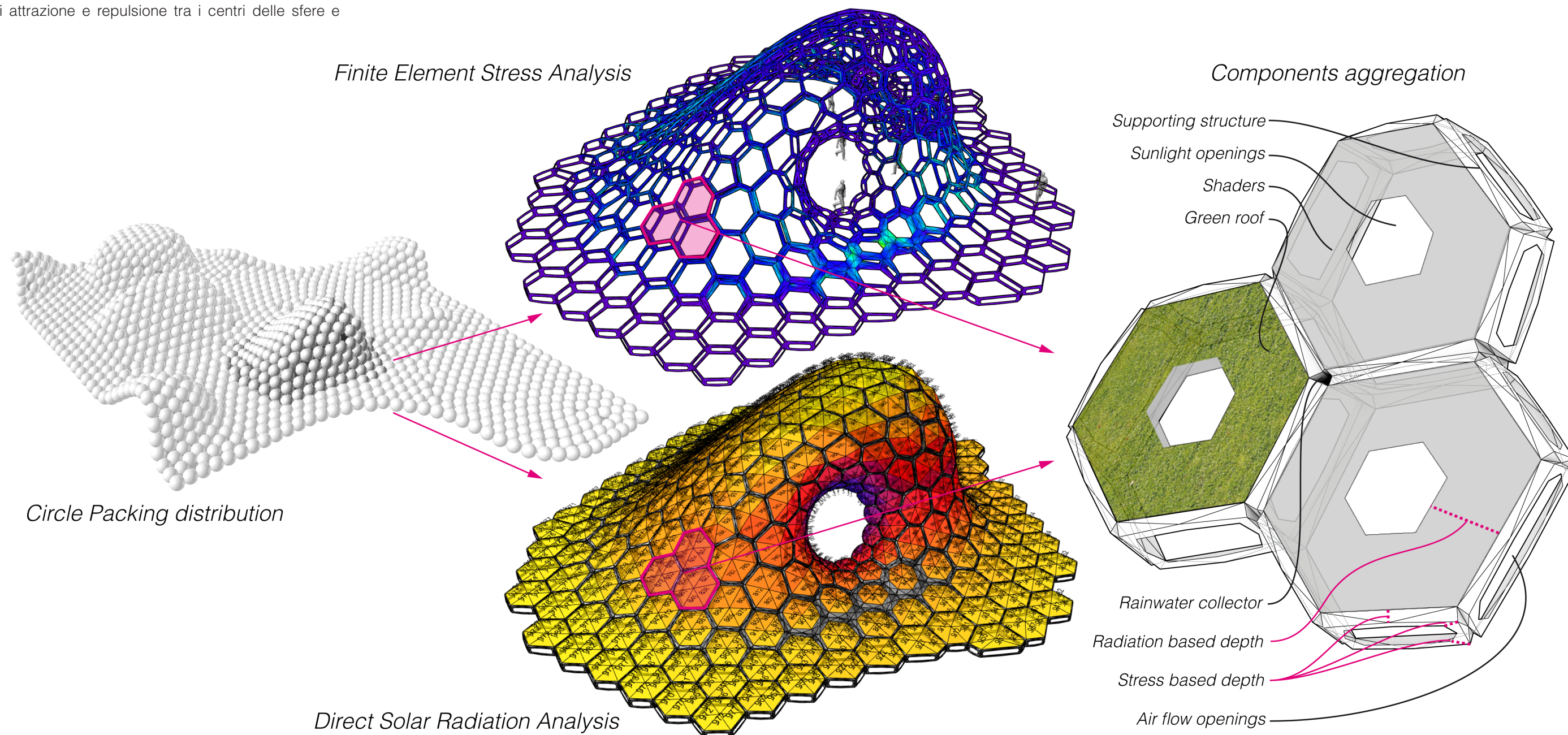
iterando la soluzione fino a raggiungere una convergenza. Generata la mesh triangolare omogenea si sono ricavati gli accessi con un processo di suddivisione delle facce della mesh simile a quello che le cellule epiteliali delle foglie mettono in atto per creare stomi sulla propria superficie. Alla singolarità così ottenuta è stato applicato ancora la strategia del form finding attraverso simulazioni digitali in grado gestire la simultanea presenza di forze dall'andamento spesso divergente e ricavarne una configurazione in equilibrio. Le singole forze in causa sono sia forze che tendono a mantenere i triangoli equilateri, sia forze che

mantengono una parte di geometria vicina alla superficie di partenza, altre impediscono la eccessiva rotazione relativa sui lati delle facce altre ancora determinano la direzione principale della deformazione. Lo stesso processo descritto è stato utilizzato anche per la negoziazione della forma del corridoio di distribuzione, della pavimentazione e la loro integrazione, casi nei quali alle forze descritte è stata aggiunta quella di gravità.

Per la discretizzazione in componenti è stato ancora utile il ricorso all'algoritmo di Voronoi, che generando esclusivamente facce planari e nodi tripli risulta particolarmente

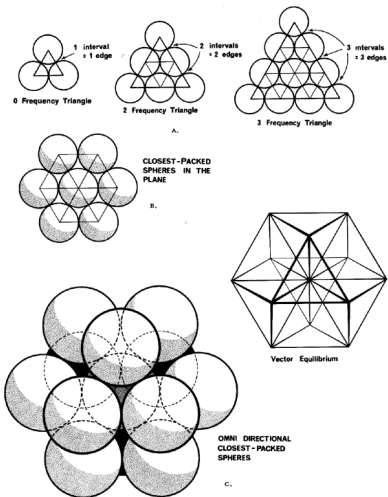
favorevole per la generazione di una struttura.

L'analisi strutturale e' servita, in due differenti momenti, per far variare parametricamente lo spessore della membrana e la dimensione delle ali di irrigidimento dei componenti. L'analisi della radiazione solare invece è stata utilizzata per dimensionare gli elementi ombreggianti che riparano l'ambiente. La natura delle chiusure permeabili alla luce varia con l'altezza: elementi piani resistenti in basso, cuscini esagonali non-planari in ETFE nella fascia intermedia e triangolari nella parte più alta per permetterene l'apertura per la circolazione dell'aria nell'intercapedine.



2.28\_Schema delle principali dinamiche morfogenetiche del processo di discretizzazione e tassellazione e configurazione finale dei componenti





2.29\_Circle e sphere packing

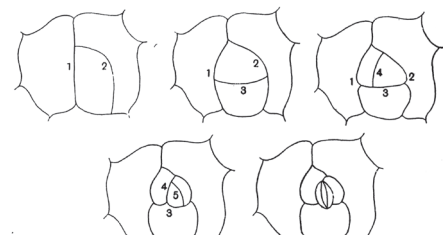
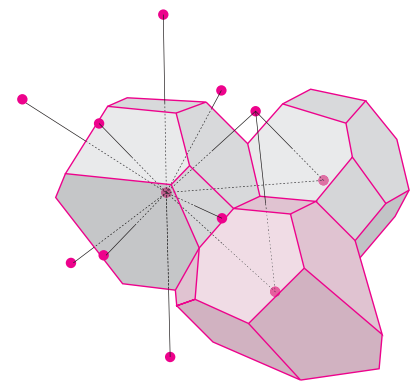


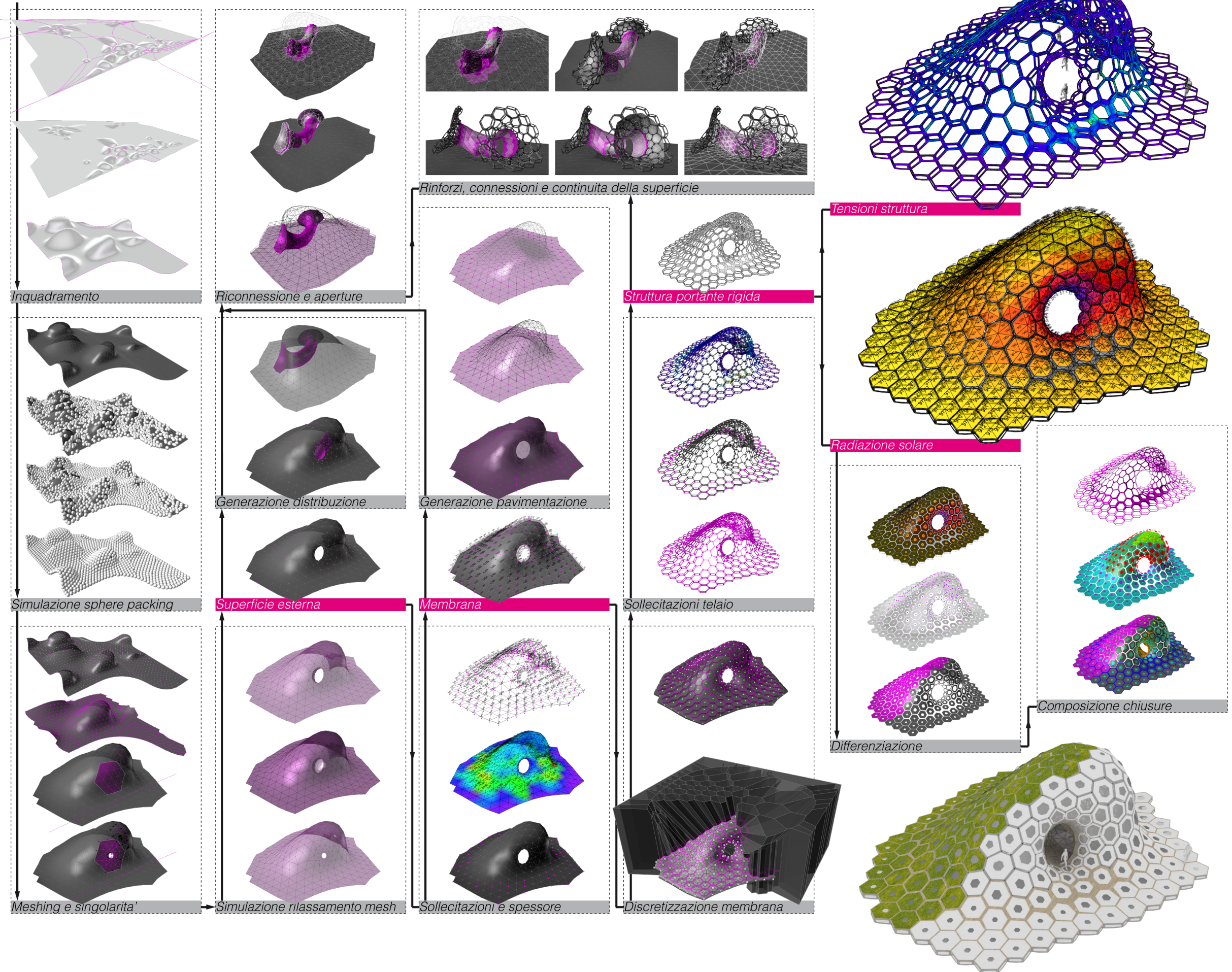
Fig. 277. Diagrammatic development of stomata in *Sedum*. (Cf. fig. in Sachs's *Botany*, 1882, p. 103.)

2.30\_Processo di successiva suddivisione cellulare precedente la creazione di stomi

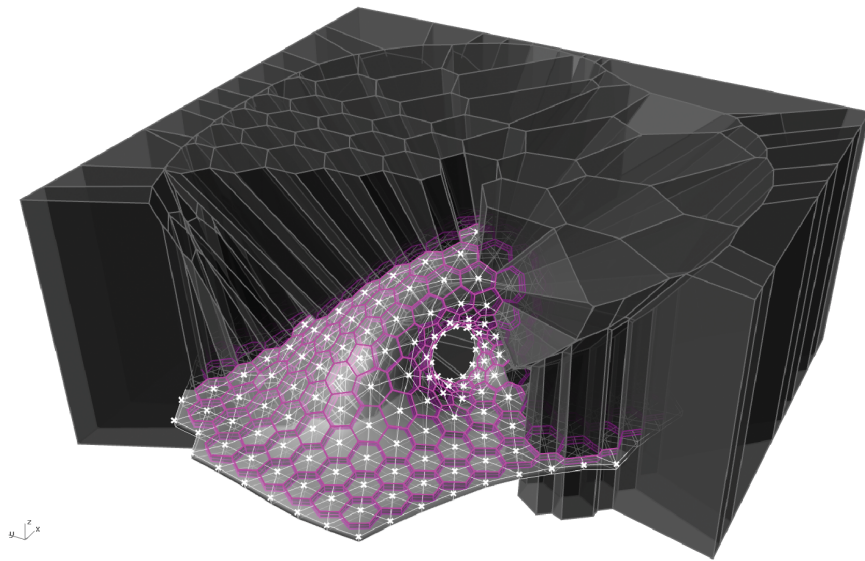


2.31\_Voronoi nelle tre dimensioni, algoritmo usato per la discretizzazione della membrana

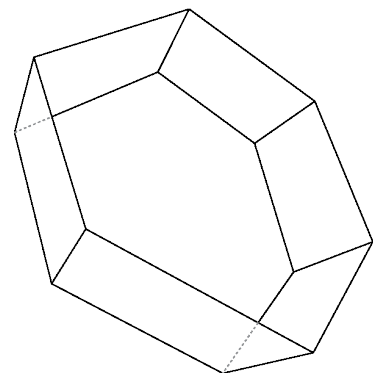
2.32\_Processo morfogenetico complessivo di discretizzazione e tassellazione della superficie. In questo articolato processo si sono utilizzate tecniche di form finding auto-organizzante come la simulazione di forze fisiche per la distribuzione delle celle sulla superficie piuttosto che l'ottimizzazione degli accessi, del pavimento e della loro integrazione. L'analisi strutturale e' servita, in due differenti momenti, per far variare parametricamente lo spessore della membrana e la dimensione delle ali di irrigidimento dei componenti. L'analisi della radiazione solare invece e' servita per dimensionare gli elementi ombreggianti che riparano l'ambiente. Processi di tipo biomimetico sono infine quelli responsabili della creazione degli accessi e dello scheletro strutturale



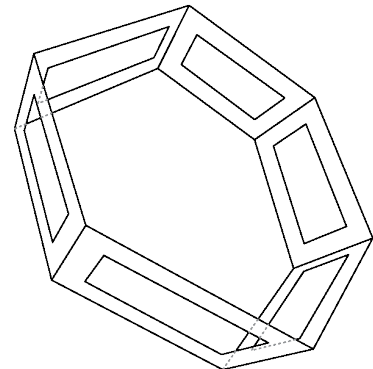




Cella risultante dalla discretizzazione

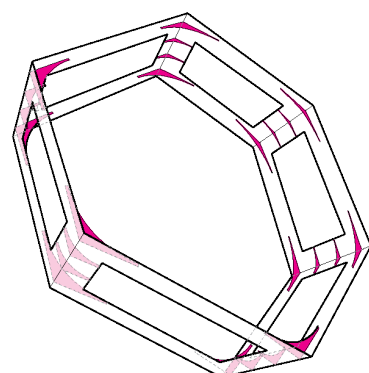


Creazione fori per flussi nell'intercapedine

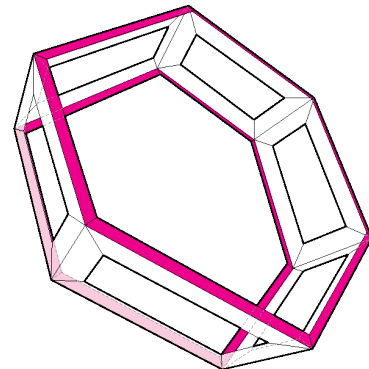


**2.33** Studio di varie soluzioni per l'irrigidimento delle celle. I fattori che determinano la maggiore o minore dimensione degli irrigidimenti sono le tensioni ricavate dall'analisi strutturale.

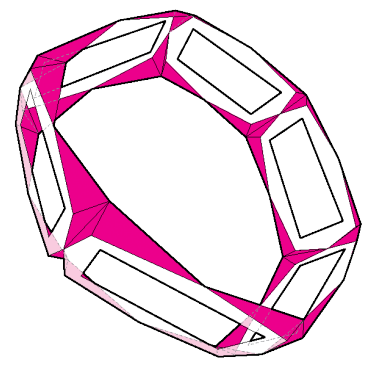
Studio di possibili irrigidimenti nei nodi della struttura



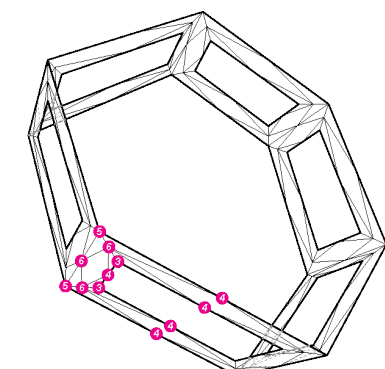
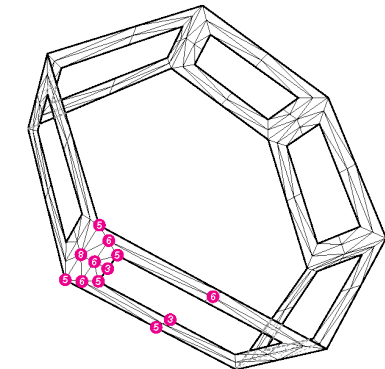
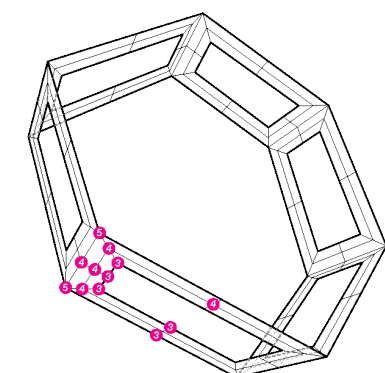
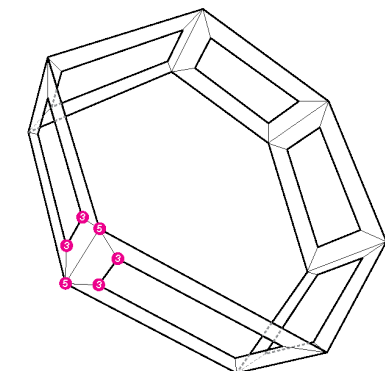
Ipotesi\_1: Giunti di connessione



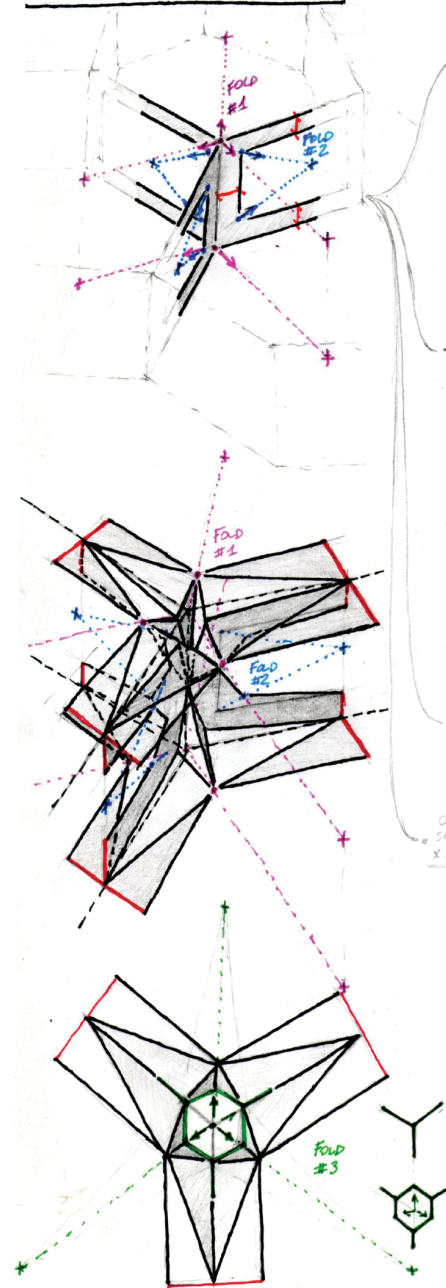
Ipotesi\_2: Ali di irrigidimento



Ipotesi\_3: Pieghe di irrigidimento



### QSA ANALYSIS - PROFOLDING



• SET AS SEPARATE MESHES:

• ACCURACY

• LOADING  
PP  
PP+SHOW  
PP+SHOW+GIRTH  
PP+SHOW+GIRTH+WIND

• OUTPUT  
SIGNIFICATIVO  
X FOLDINGS

FORCES  
MOMENTS  
STRESS (2D ELEMENT DERIVED STRESS)

• PERIAPICAL (MAX; MIN)  
+ DISTINGUE TENSIONE E COMPRESSIONE  
+ DIRECTION PRINCIPALI

• VON MISES CRITERION  
+ ALL INCLUSIVE  
+ VALORE ASSOLUTO (ADATTATO A MAGNITUDO)

• STRAINS (NODAL)

NECESSARIO  
PER RE-INTERPRETARE  
LE MESH COME RISULTATI  
IN GH MANUTENENDO  
UNIVOCITA' DI IDENTIFICAZIONE  
DELLA FACCE/NOI



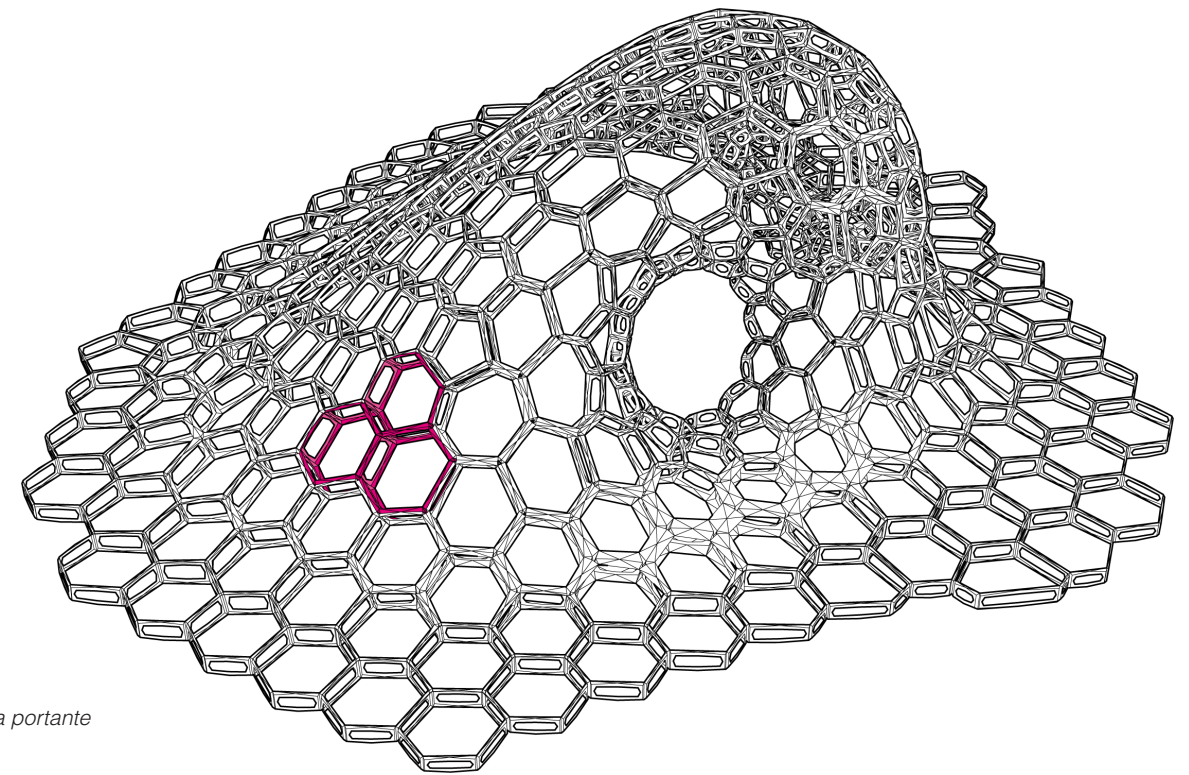
## 2.5 CONFIGURAZIONE

Finalmente il risultato delle articolate implementazioni di algoritmi e gestione del flusso di dati si manifesta nella configurazione ottenuta secondo un meticoloso processo di esplorazione dei campi di geometrie ottenibili. In queste pagine si riesce a capire la fondatezza del titolo di tutto il progetto: Homeostatic Patterns.

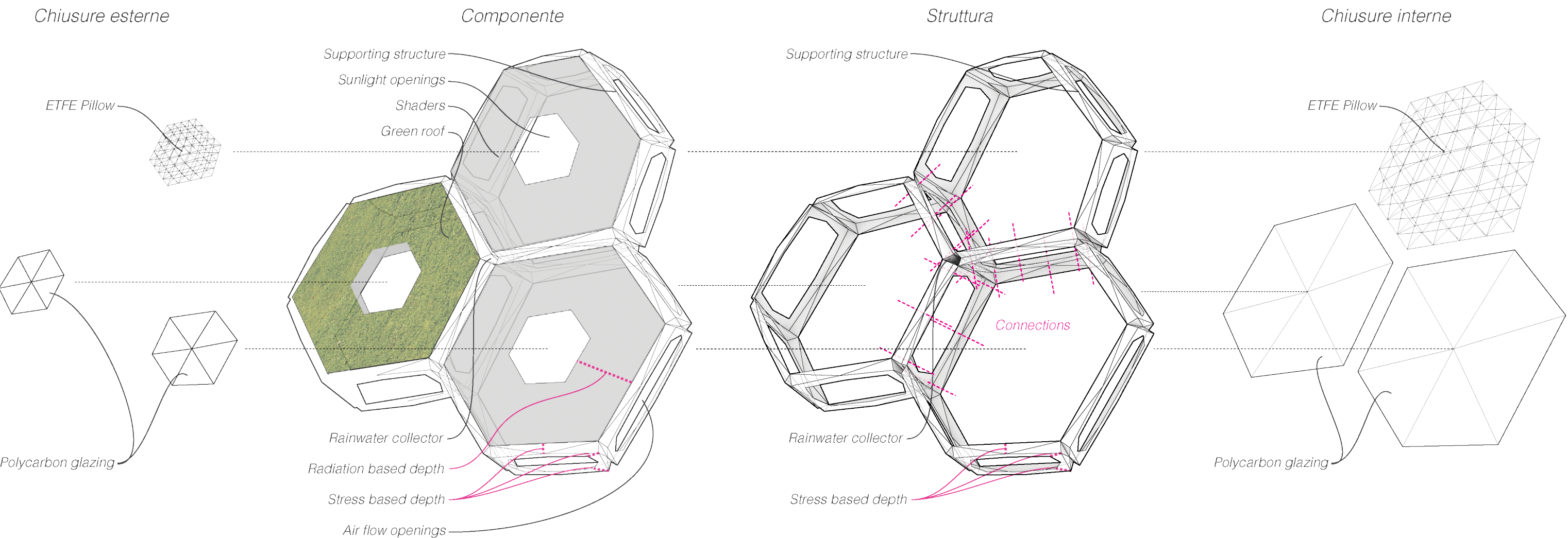
Il processo, lavorando a tutte le scale contemporaneamente genera pattern ibridi che emergono dalla sincrona e sinergica integrazione dei processi morfogenetici selezionati. In particolare, essendo l'ultima fase di definizione delle geometrie una trasformazione di elementi alla scala del componente, è proprio la variazione e la differenziazione delle caratteristiche morfologiche di questi ultimi che genera l'aspetto complessivo dell'architettura.

L'organismo architettonico trasmette già ad un primo sguardo la natura dei processi che sottendono a questi

gradienti di variazione e permette di percepire la nuova sensibilità con cui architettura ed ambiente interagiscono regolando l'equilibrio dinamico alla base di qualsiasi processo omeostatico.



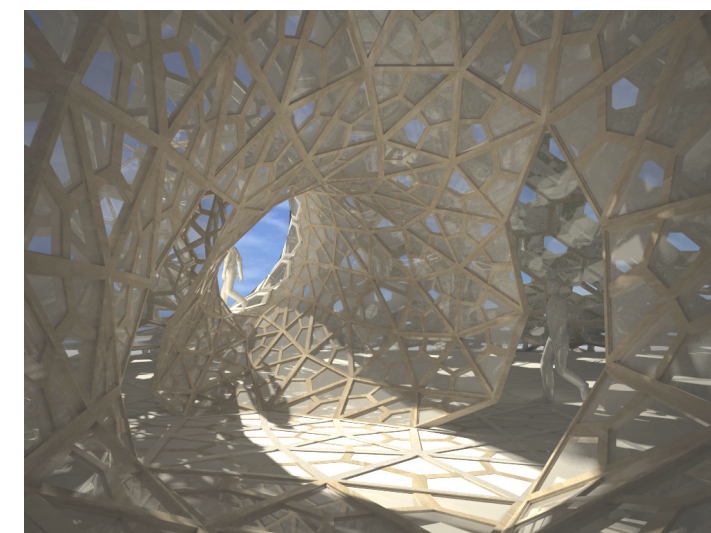
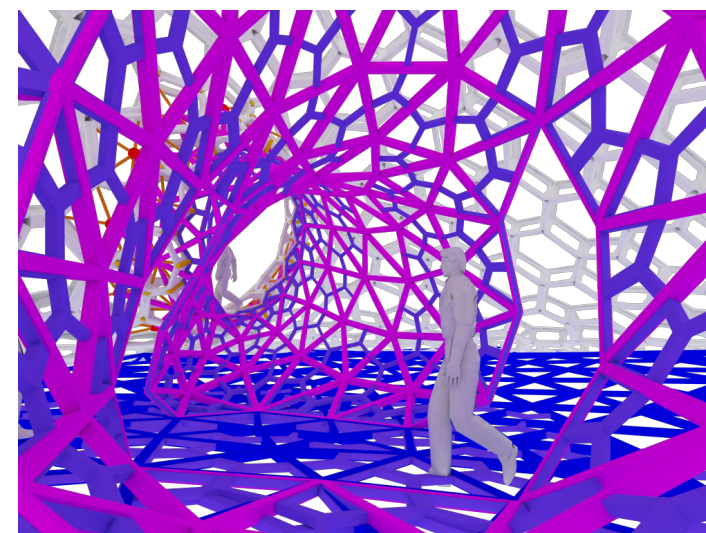
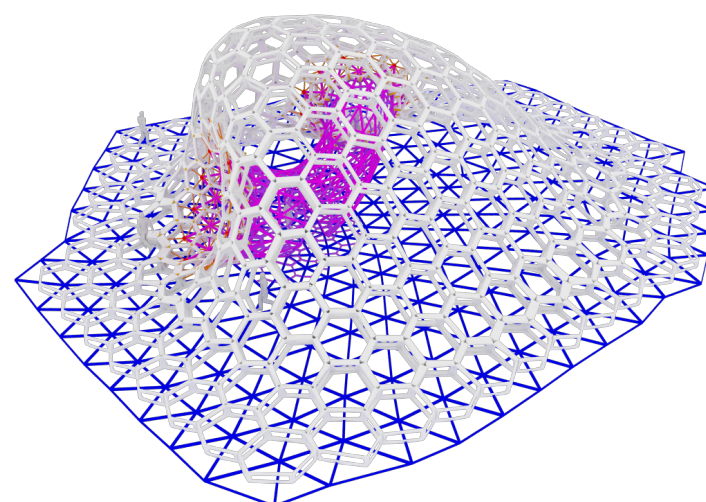
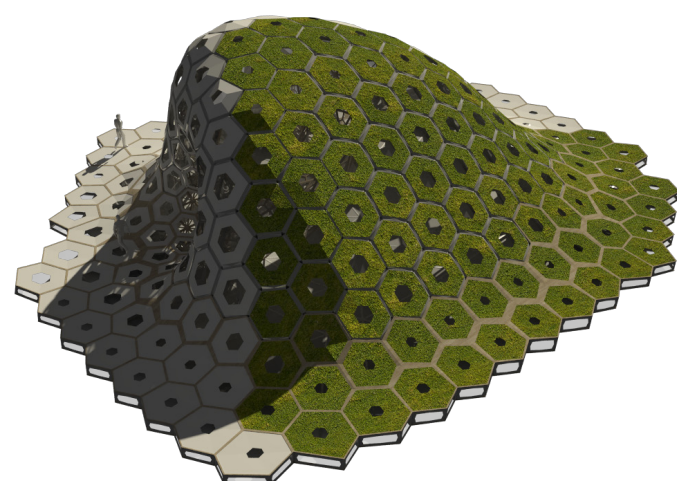
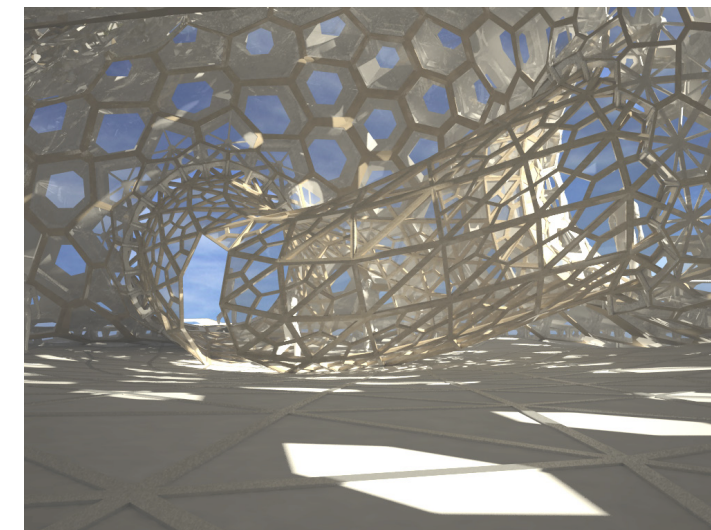
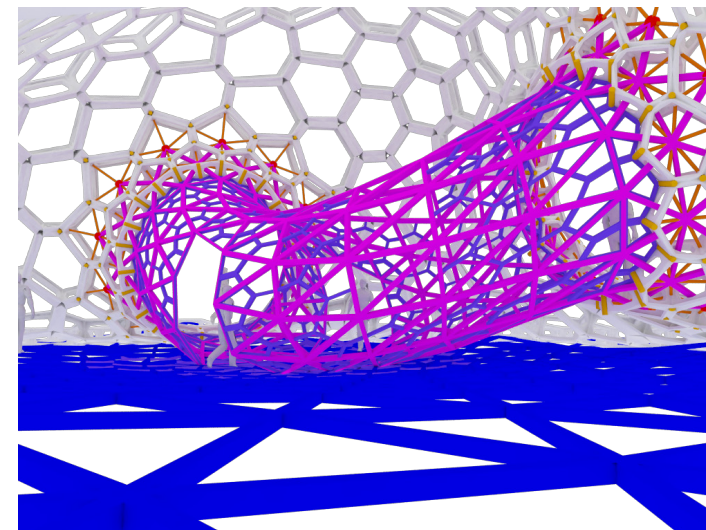
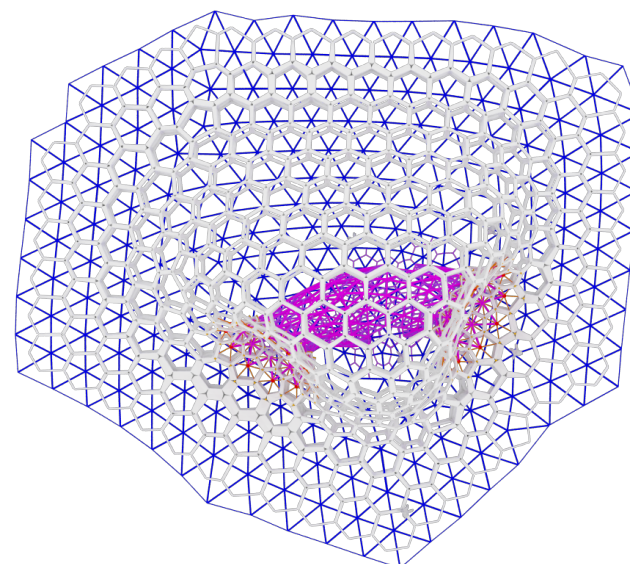
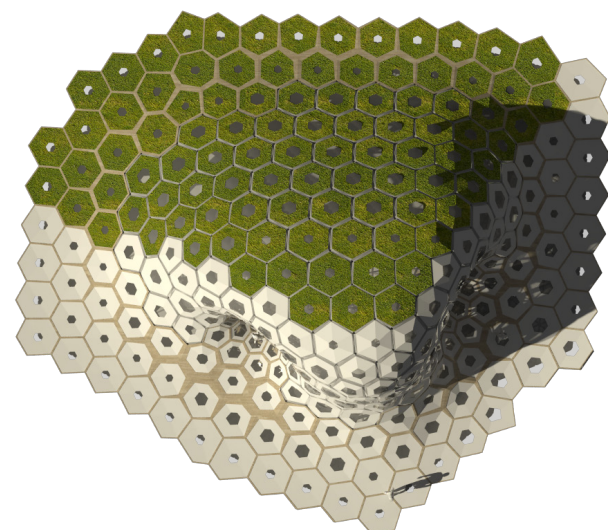
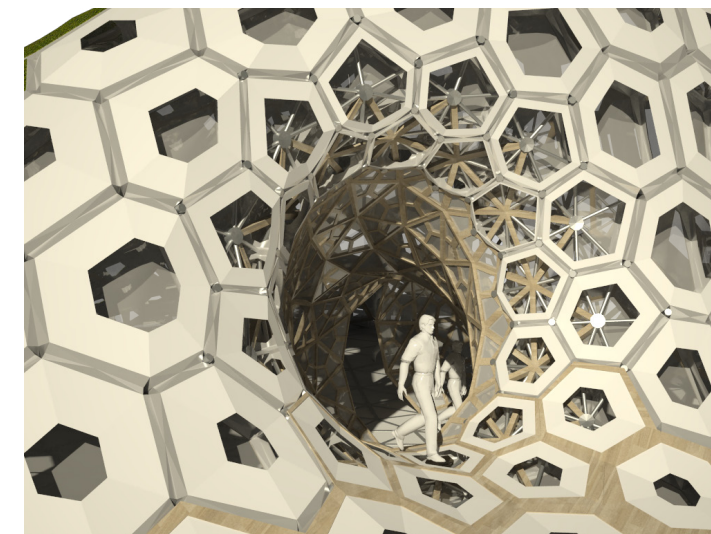
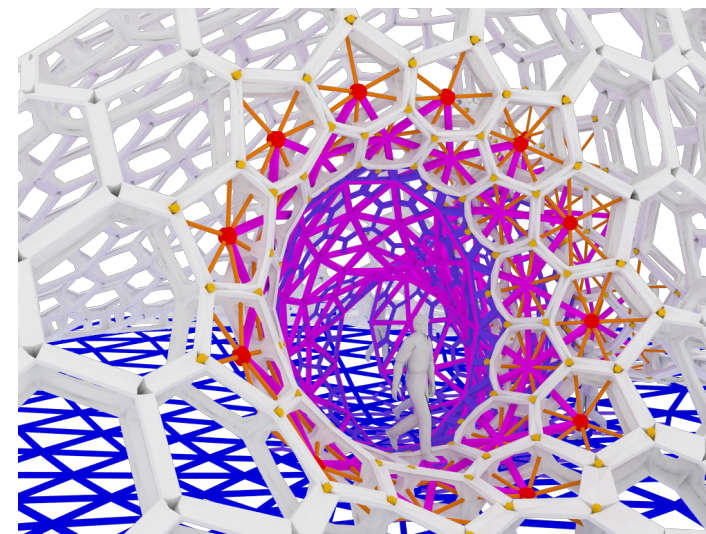
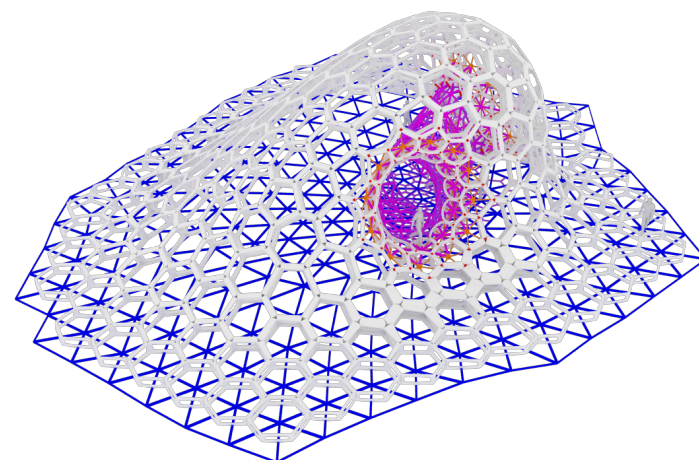
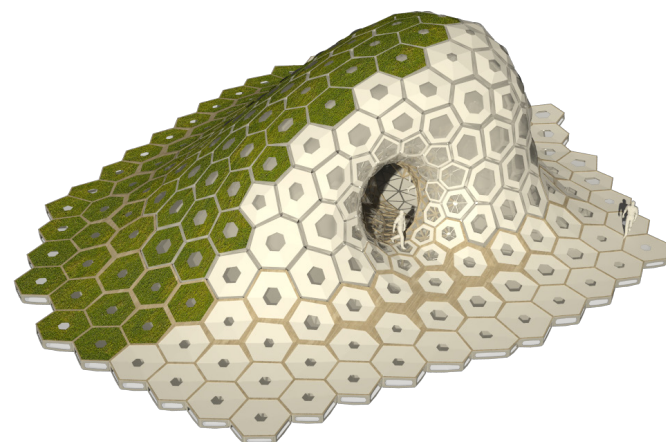
2.34\_Struttura portante



2.35\_Elementi costituenti il componente tipo e loro caratteristiche variabili in funzione dei fattori ricavati dalle simulazioni. Le connessioni tra componenti sono bullonate in cantiere mentre il componente arriva completo di tutte le parti

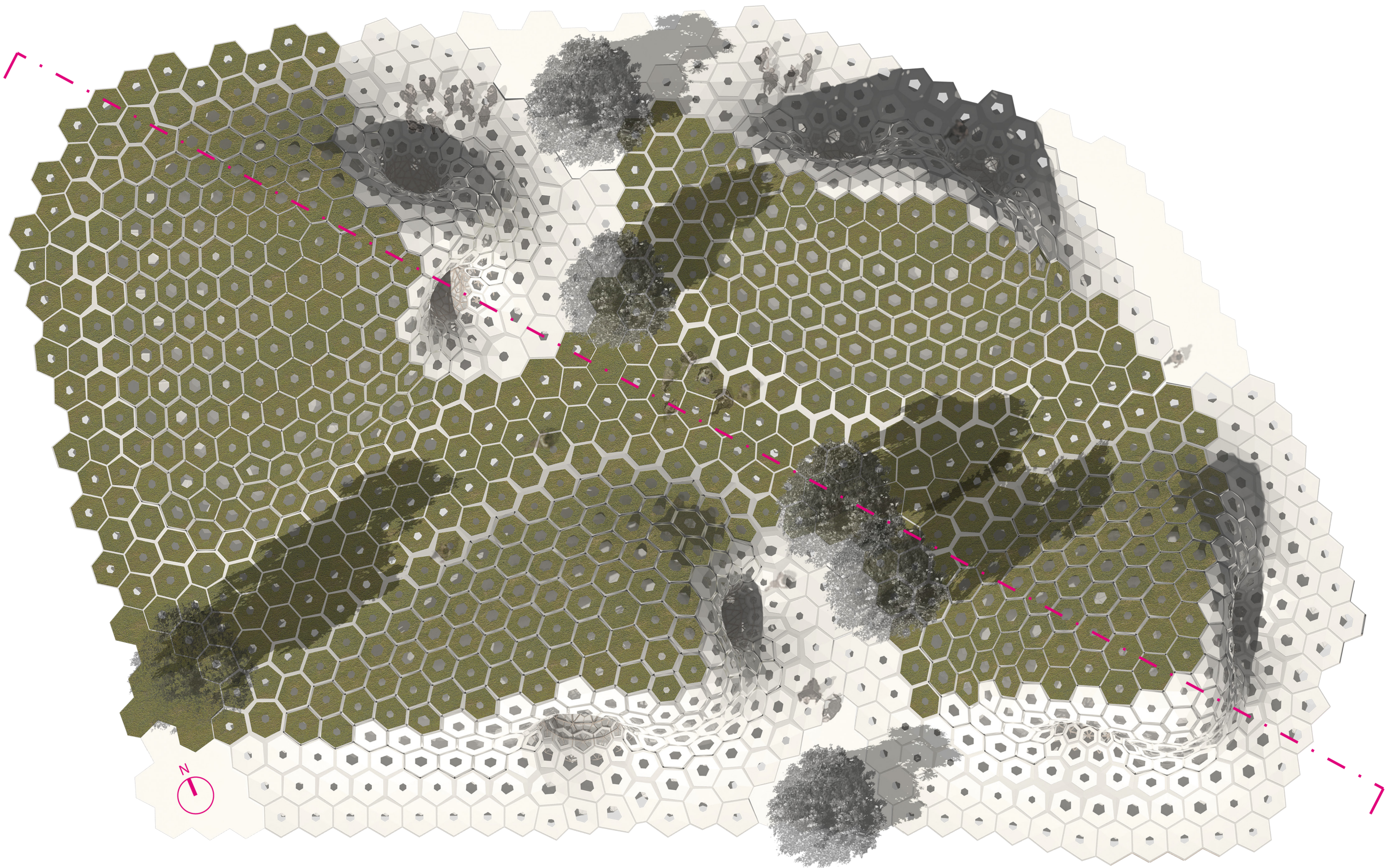


### 2.5.1\_ELABORATI DESCRITTIVI



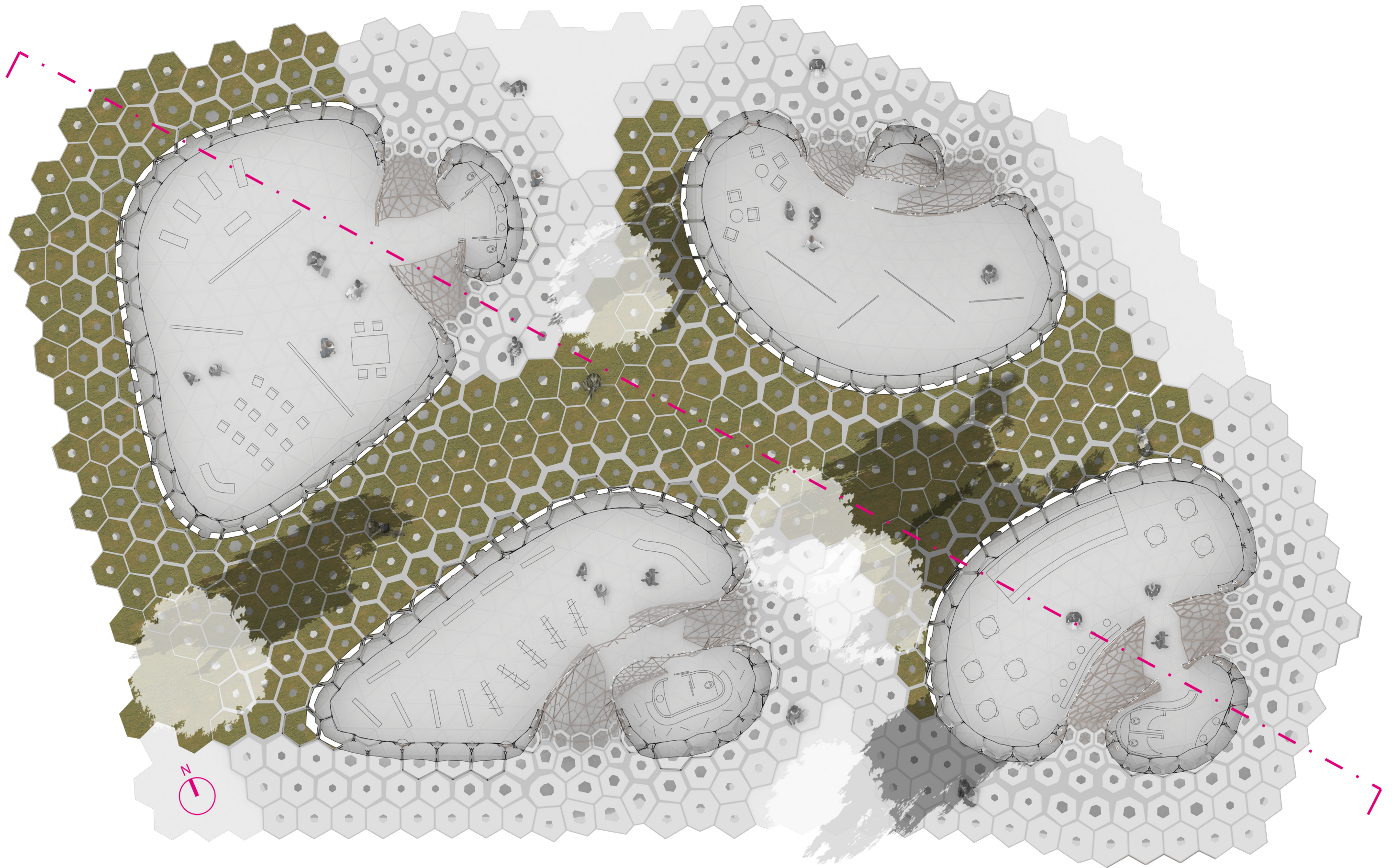
2.36\_Configurazione finale di uno degli ambienti. Alle immagini è affiancato lo schema della struttura portante con evidenziata la gerarchia di elementi strutturali costituenti l'apparato distributivo





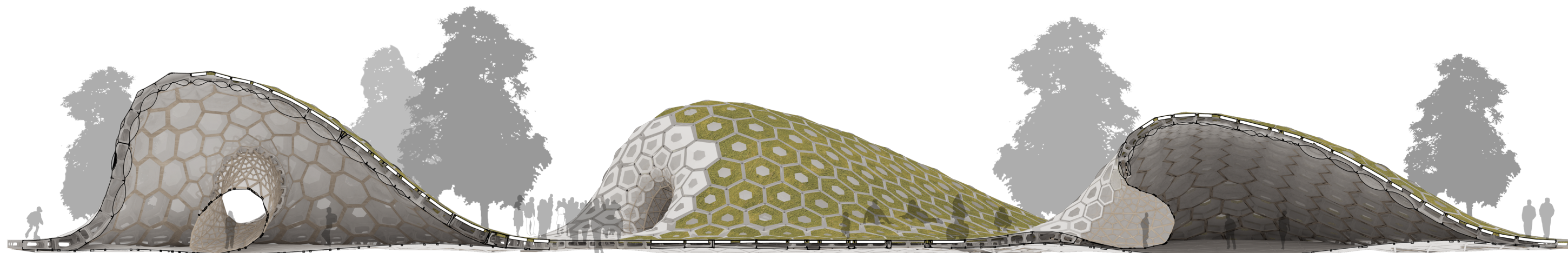
2.37\_Planivolumetrico. Scala 1:200. Il risultato del processo applicato ai vari ambienti programmati genera una configurazione spaziale in cui si possono riconoscere i pattern distintivi e quello complessivo



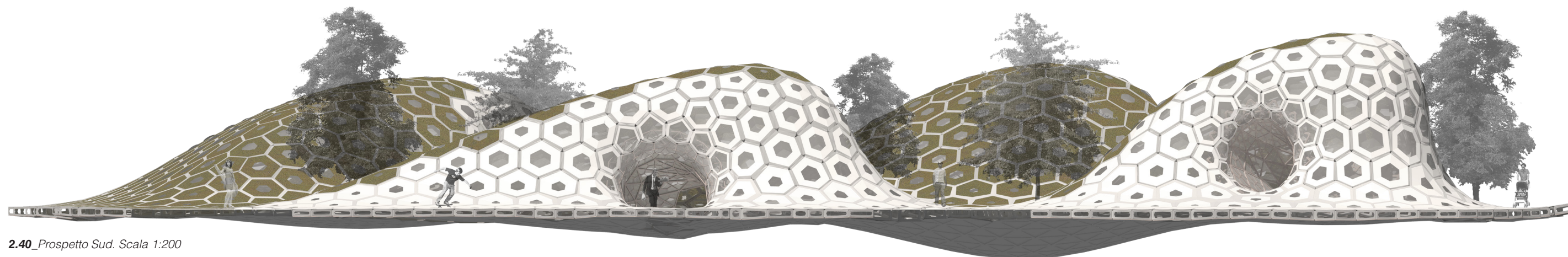


2.38\_Planimetria. Scala 1:200.

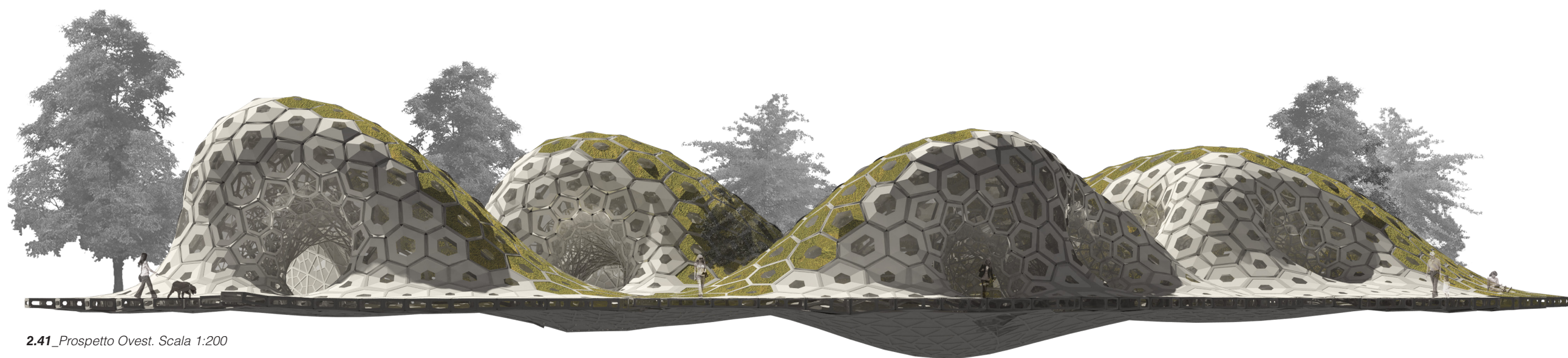




2.39\_Sezione AA. Scala 1:200



2.40\_Prospetto Sud. Scala 1:200

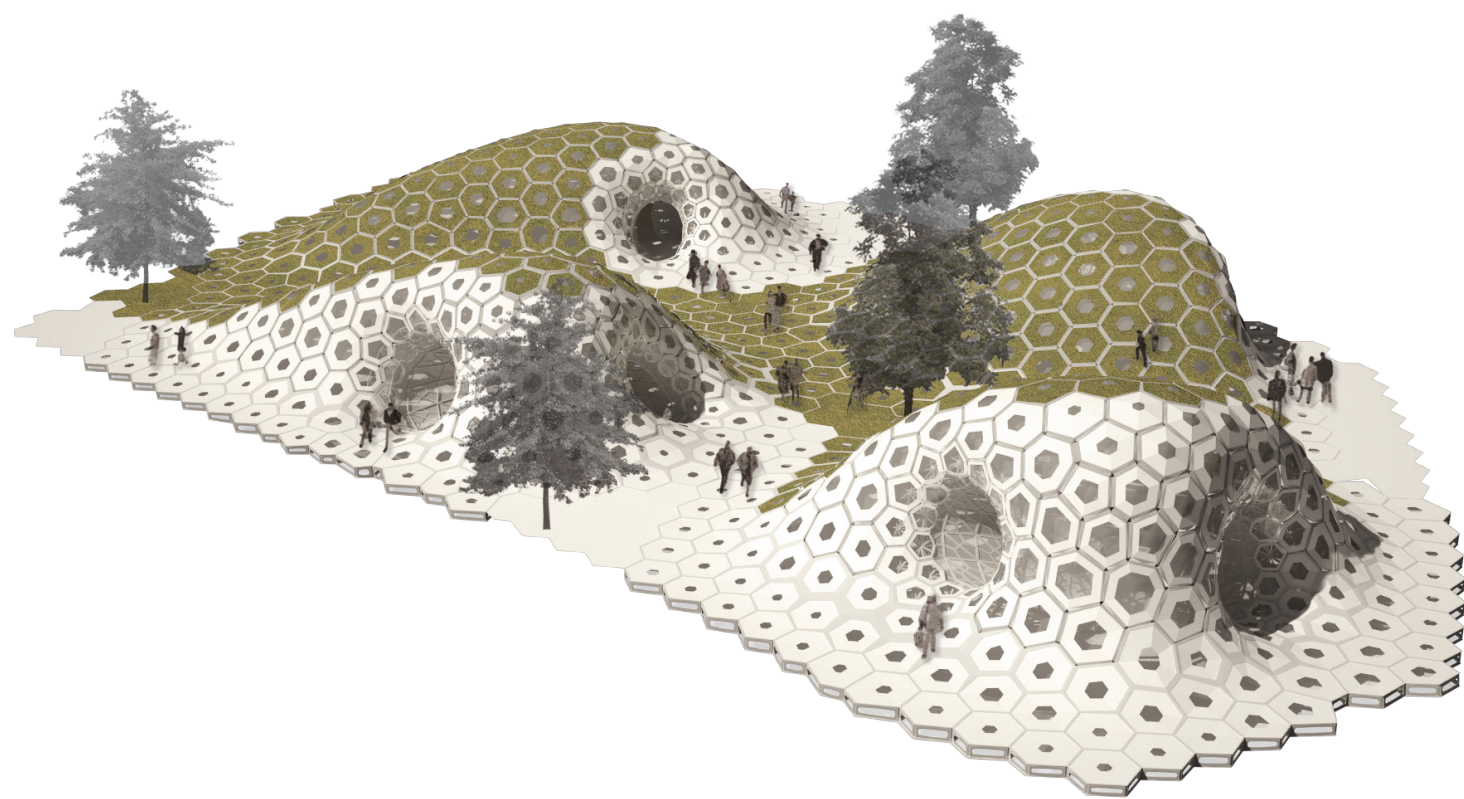


2.41\_Prospetto Ovest. Scala 1:200

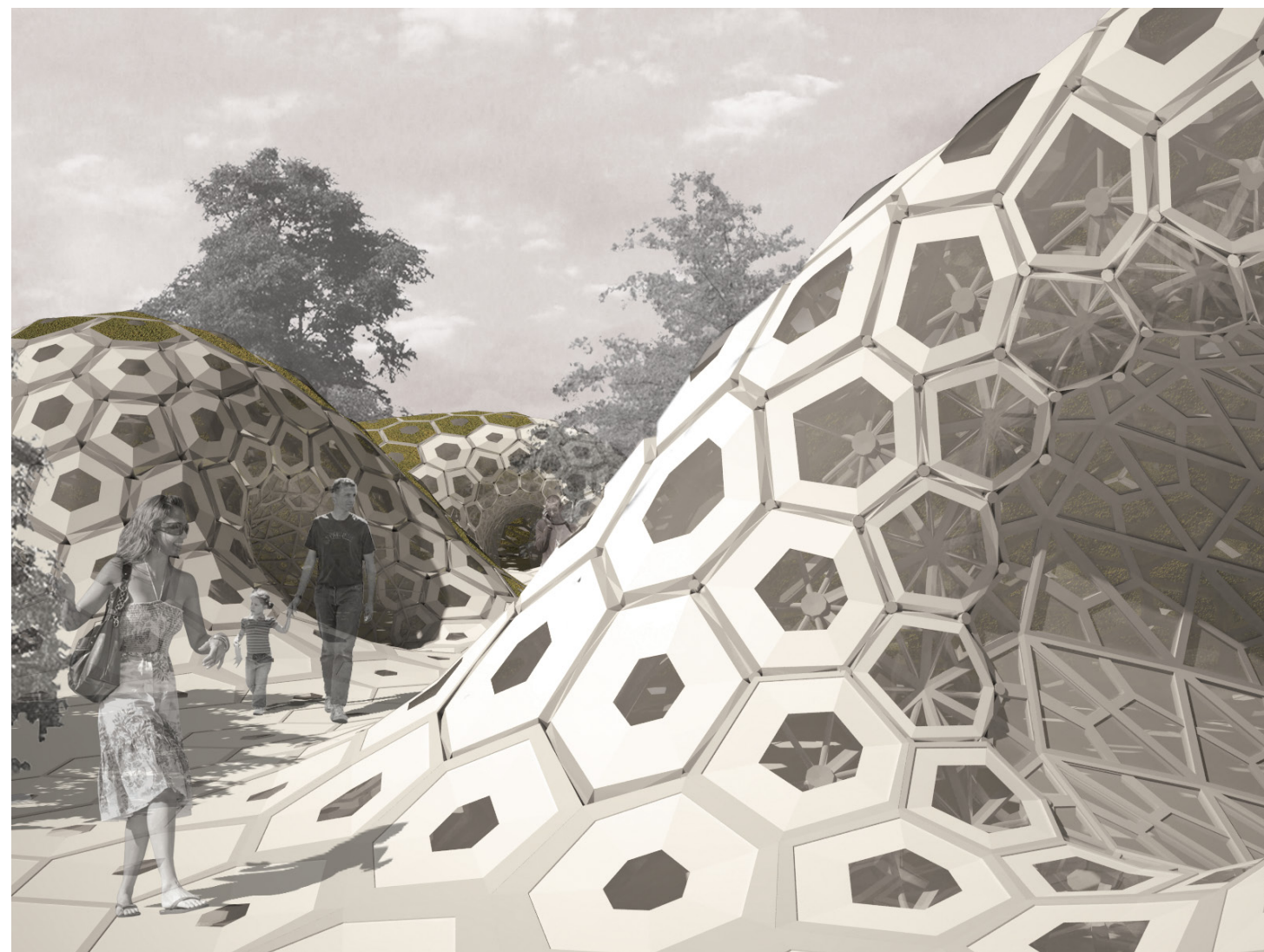




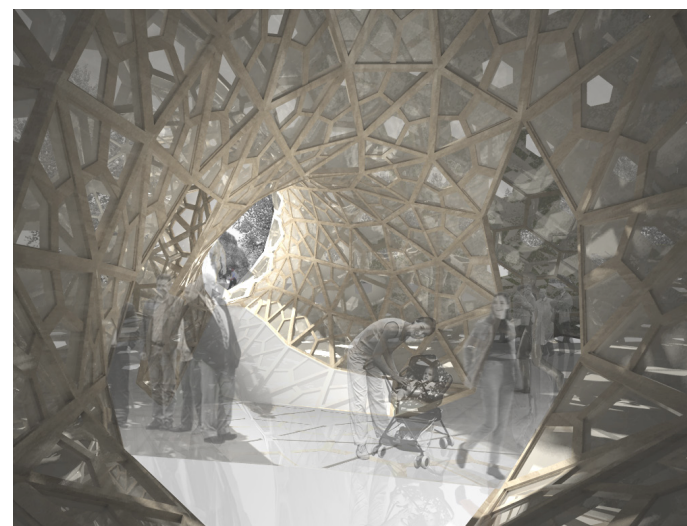
2.42\_Vista prospettica da sud-ovest



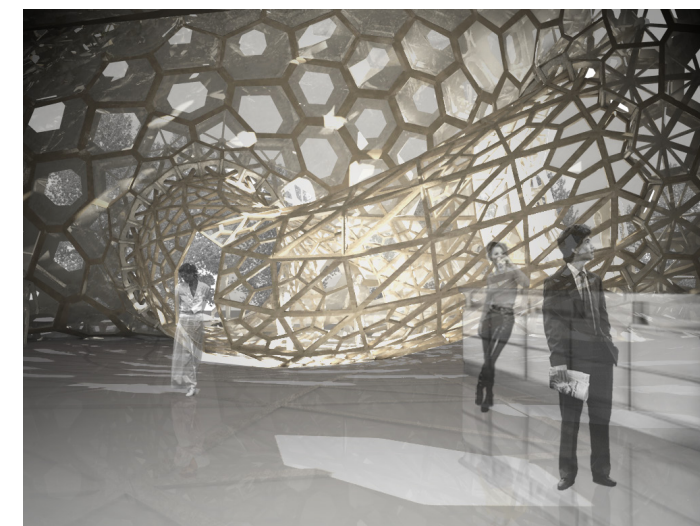
2.43\_Vista prospettica da sud-est



2.44\_Vista prospettica



2.45\_Vista degli interni



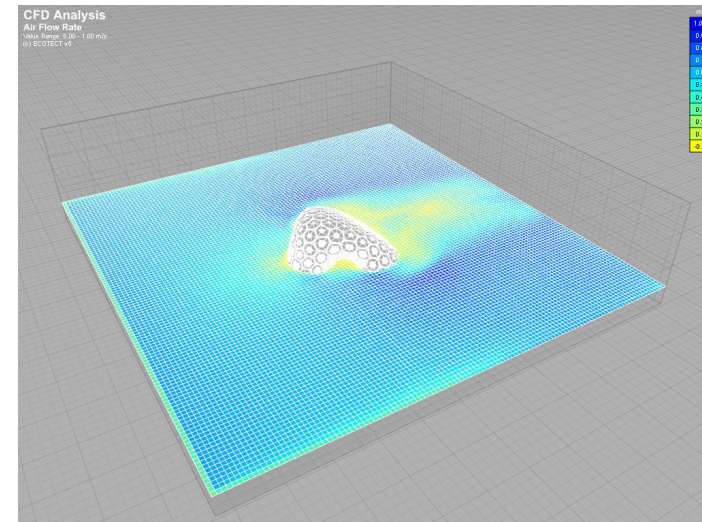
2.46\_Vista degli interni



### 2.5.2\_PERFORMANCES

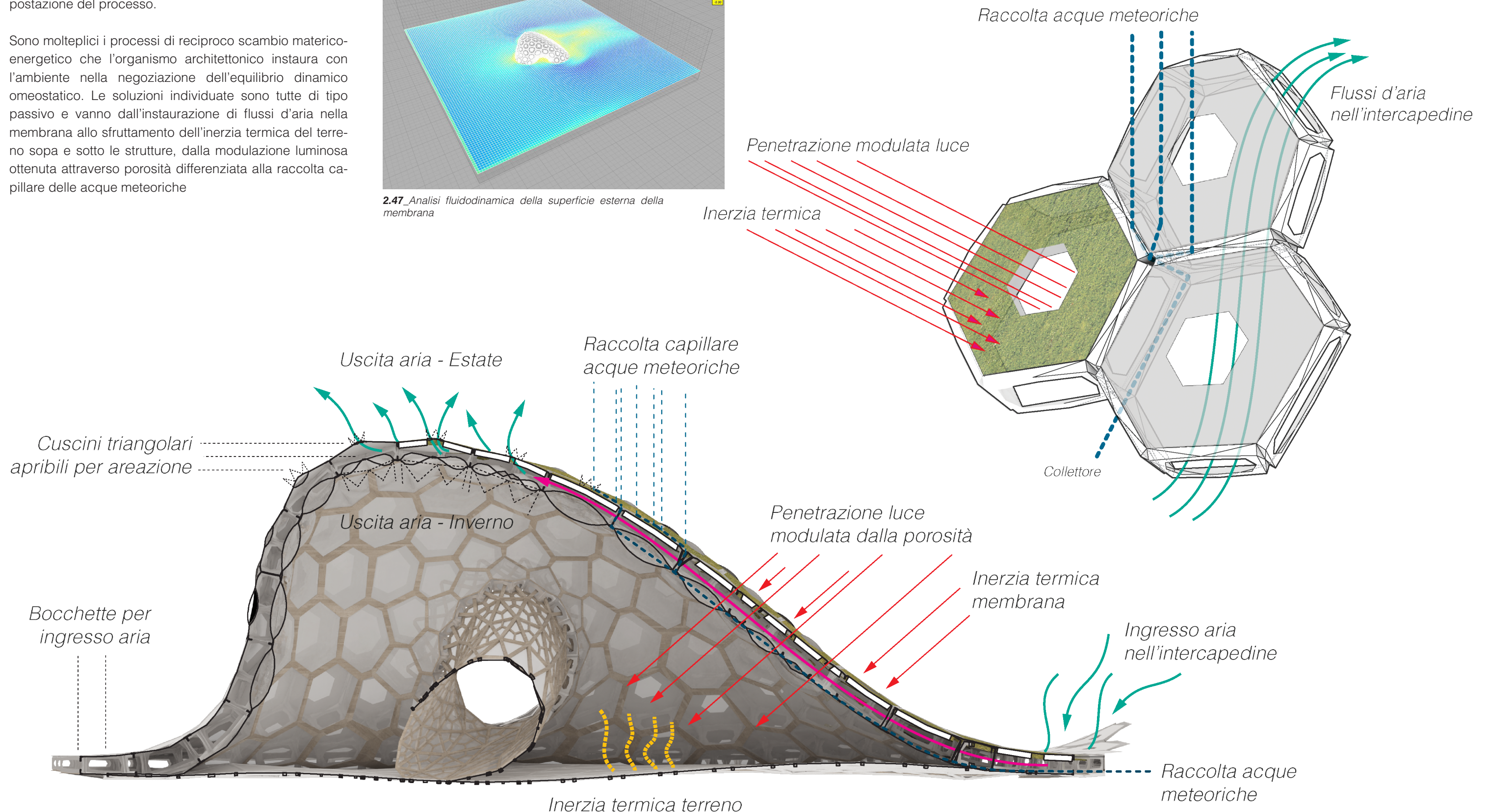
Si analizzano ora le performance ottenute dal sistema architettonico generato per verificare la correttezza dell'impostazione del processo.

Sono molteplici i processi di reciproco scambio materico-energetico che l'organismo architettonico instaura con l'ambiente nella negoziazione dell'equilibrio dinamico omeostatico. Le soluzioni individuate sono tutte di tipo passivo e vanno dall'instaurazione di flussi d'aria nella membrana allo sfruttamento dell'inerzia termica del terreno sopra e sotto le strutture, dalla modulazione luminosa ottenuta attraverso porosità differenziata alla raccolta capillare delle acque meteoriche



2.47\_Analisi fluidodinamica della superficie esterna della membrana

2.48\_Multiperformances ambientali dei componenti nella configurazione assemblata. Luce, inerzia termica, flussi d'aria e raccolta delle acque meteoriche vengono regolati dallo stesso componente e dalle sue differenziazioni



2.49\_Dinamiche omeostatiche passive della membrana. La possibilità di aprire alcuni cuscini in ETFE in cima e la presenza di bocchette alla base permettono la circolazione dell'aria nell'intercapedine



*Acustica*

Il primo comportamento da verificare è quello acustico, da cui si è partiti per la determinazione a scala macroscopica della forma. Fatte le analisi grazie al modulo per l'analisi acustica del software Autodesk Ecotect, dalla distribuzione dei vettori riportata si evince come la gestione parametrica delle altezze in funzione dei dati del rumore garantisca una bassissima permeabilità delle onde sonore in direzione del parco. La forma curva delle superfici inol-

tre, deviando le onde sonore verso l'alto, migliora anche la situazione acustica lungo il tracciato di Via Saffi, impedendo l'effetto eco che si avrebbe se i due fronti sulla strada fossero paralleli.

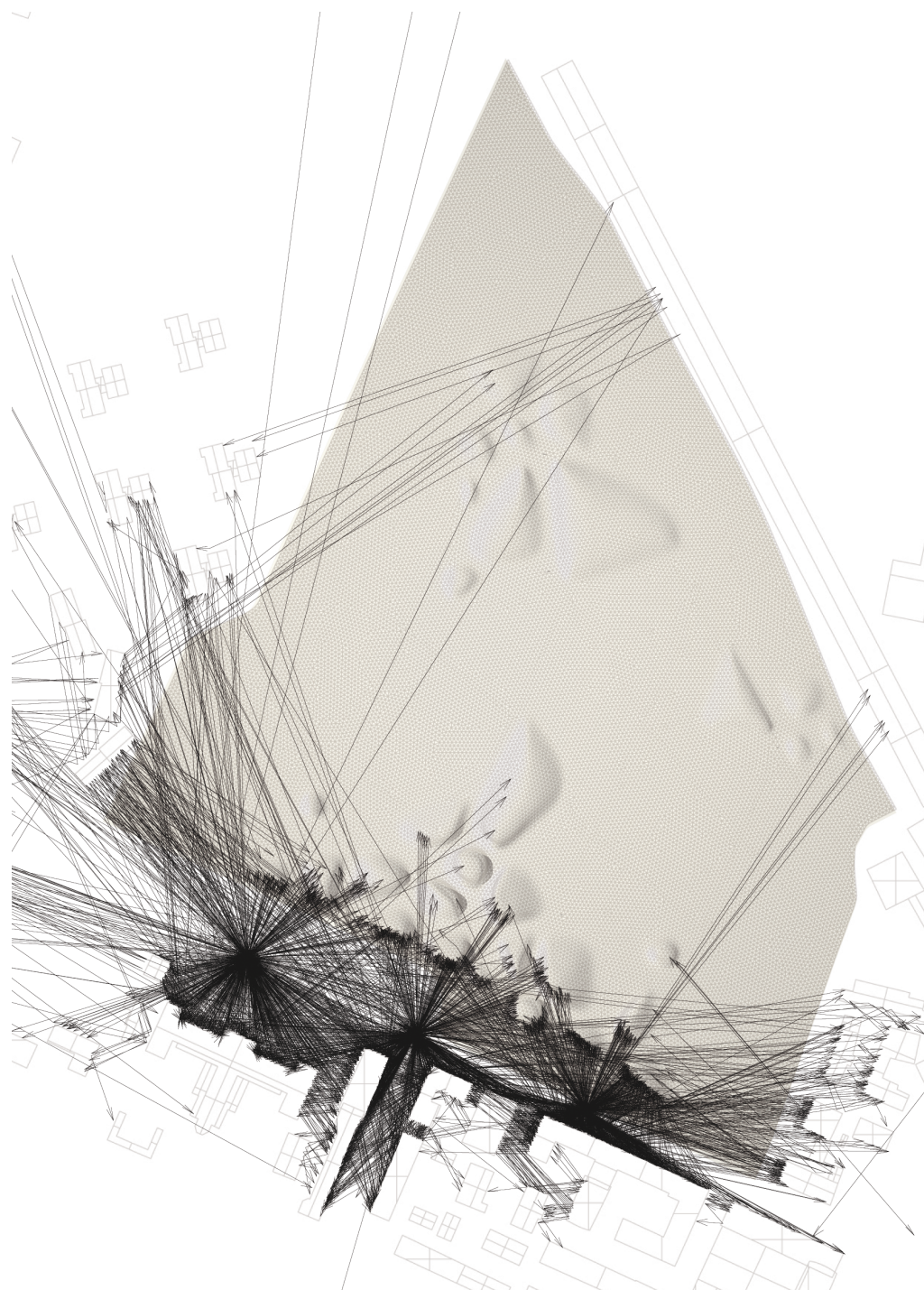
*Comfort*

L'analisi luminosa di uno degli ambienti ottenuti mostra come la luce che penetra all'interno risulti modulata e non vi siano né zone particolarmente illuminate (abbagliamen-

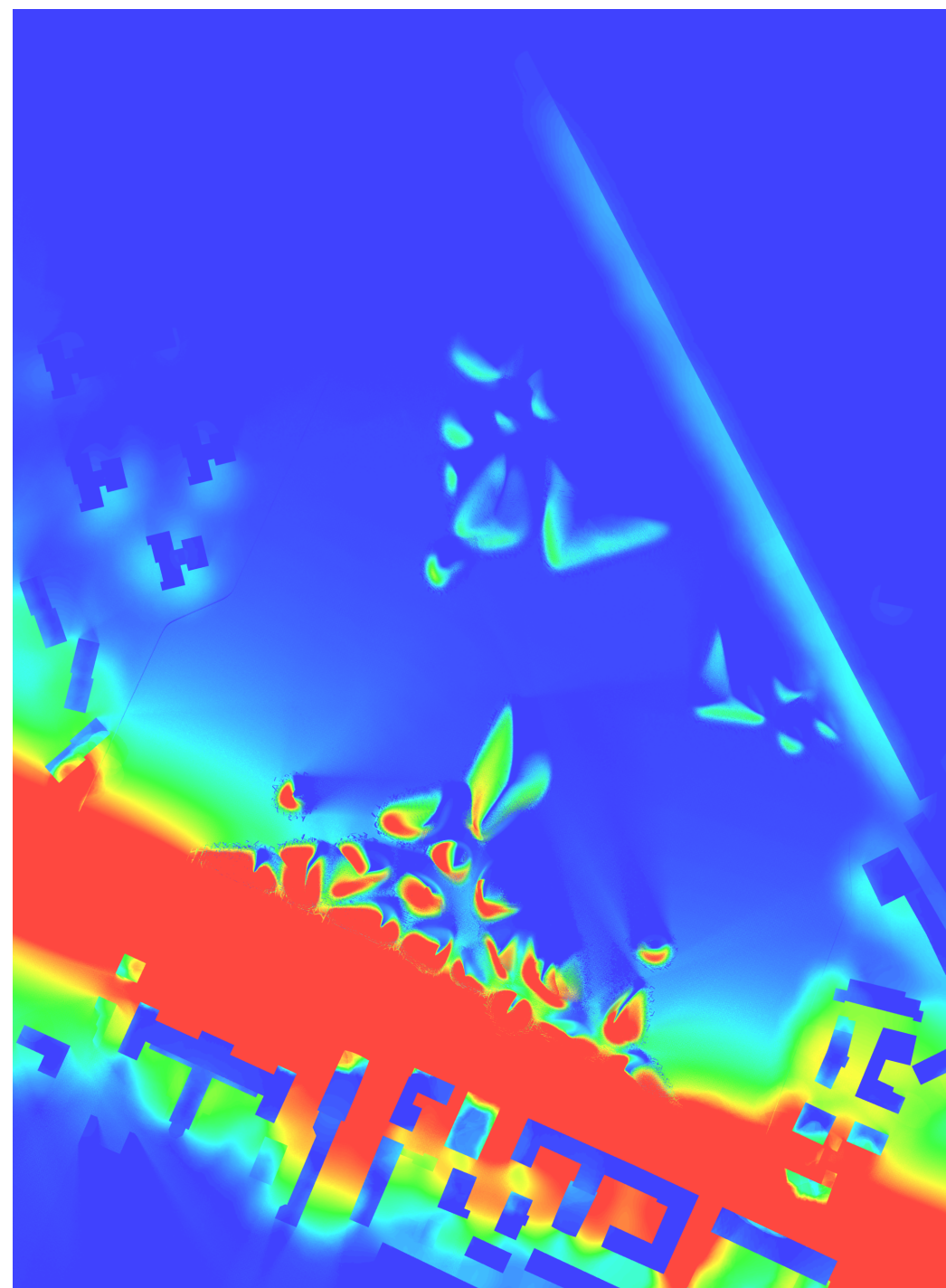
to) né buie. Oltre che grazie alla gestione parametrica delle aperture questo risultato è stato ottenuto utilizzando film di ETFE traslucido, capace di diffondere ottimamente la luce e di evitare il passaggio totale di questa all'interno.

*Strutturale*

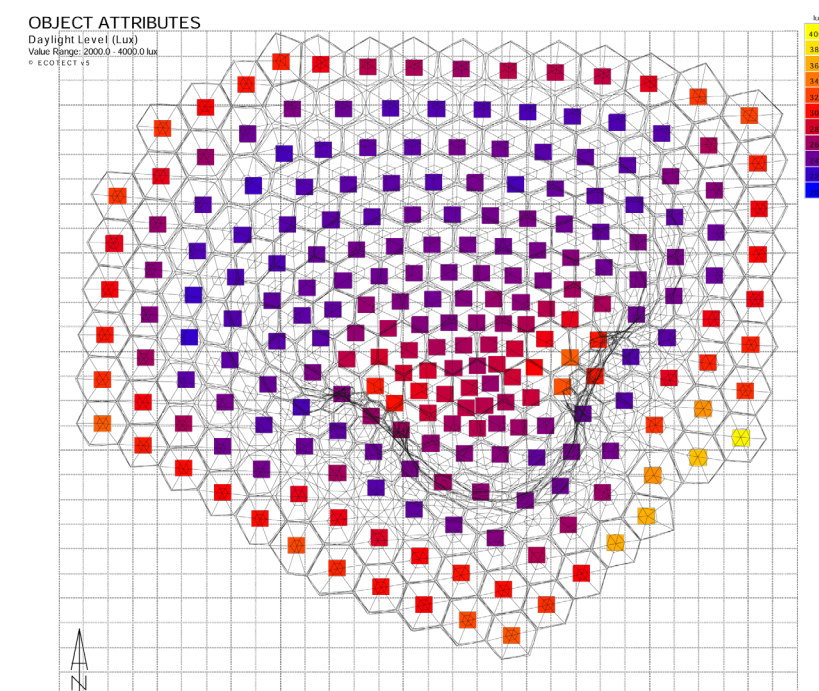
Le analisi eseguite sulla struttura generata hanno dato ottimi risultati, come dimostra già ad un primo sguardo come le tensioni siano ben distribuite nella struttura. La verifica è



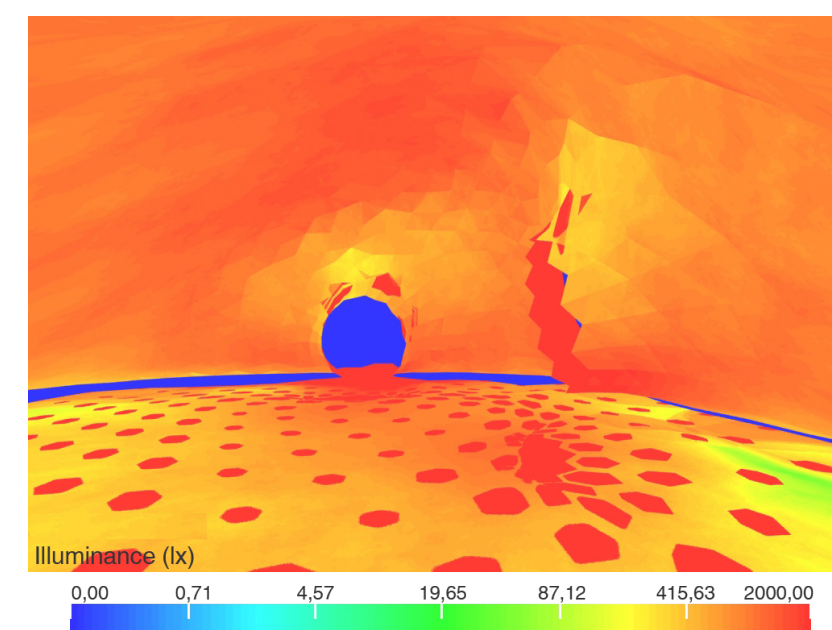
2.50\_Analisi acustica eseguita con Autodesk Ecotect



2.51\_Analogia: utilizzo del motore di rendering Mental Ray per il raytracing



2.52\_Analisi del illuminamento di uno degli ambienti



2.53\_Analisi del illuminamento di uno degli ambienti



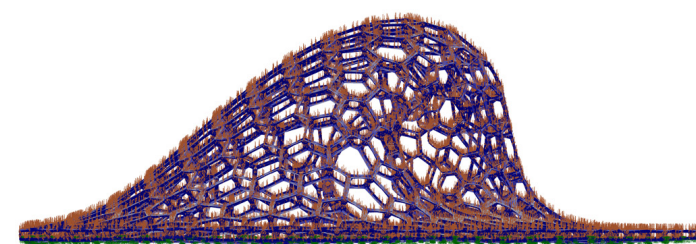
stata eseguita attraverso il software Oasys GSA, sviluppato da ARUP, utilizzando il Metodo agli Stati Limite.

La combinazione di carico utilizzata per lo stato limite ultimo è quella caratteristica, in cui sono combinati i carichi permanenti strutturali (struttura portante in alluminio), quelli permanenti non strutturali (peso della membrana e del terreno dove previsto dal progetto), il carico variabile della neve e il sovraccarico (considerato pari a 5 kN/mq).

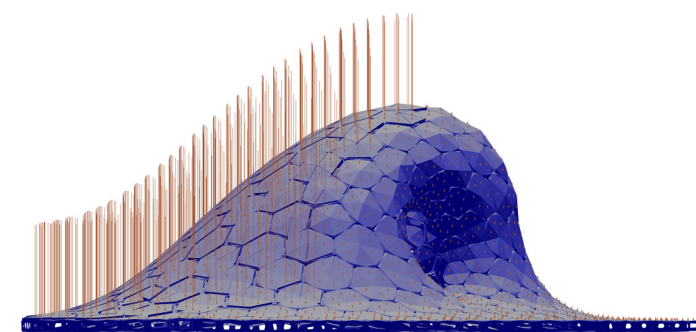
Il risultato peggiore mostra come nella struttura non si superi la tensione (misurata con il criterio di Von Mises) di 150 MPa, valore inferiore alla tensione di snervamento della maggior parte delle leghe di alluminio utilizzate per scopi strutturali (la lega alluminio-magnesio del prototipo ha carico di snervamento pari a 250 MPa mentre altre leghe raggiungono i 450-500 MPa).

Una ulteriore prova eseguita considerando la struttura fat-

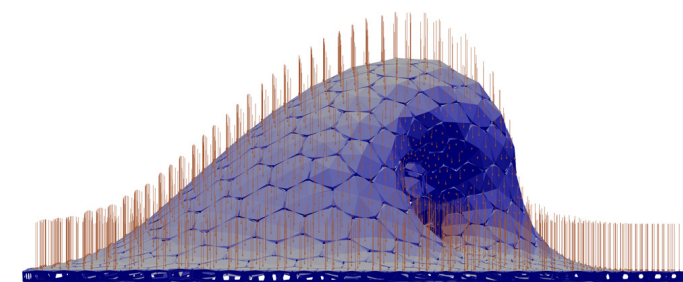
ta di acciaio non ha mostrato particolari variazioni nelle tensioni massime raggiunte, essendo il peso proprio della struttura molto basso rispetto agli altri carichi considerati.



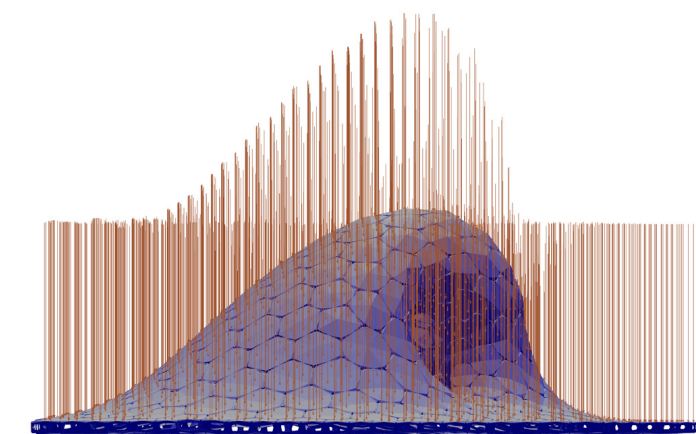
2.54\_Carico permanente G1: peso proprio struttura. Incastri a terra.



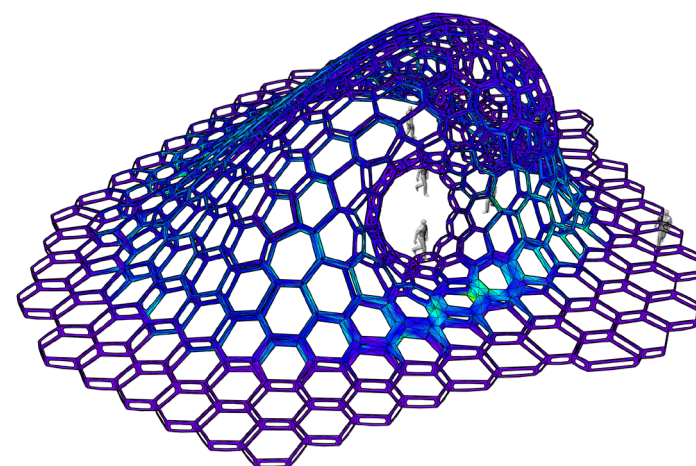
2.55\_Carico permanente G2: peso proprio tamponamenti e terreno



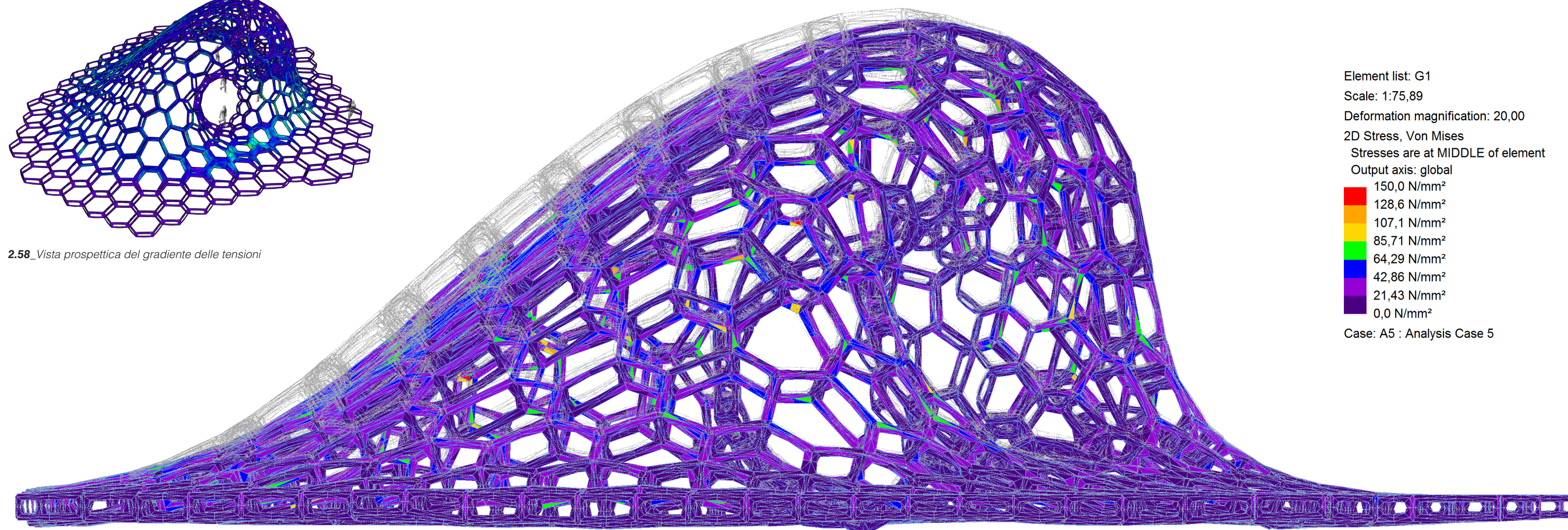
2.56\_Carico variabile Q1: peso della neve (1,50 kN/mq)



2.57\_Carico variabile Q2: sovraccarico (Cat. C3: 5,00 kN/mq)



2.58\_Vista prospettica del gradiente delle tensioni



2.59\_Mappatura delle tensioni negli elementi strutturali con il Criterio di Von Mises nella combinazione di carico più sfavorevole

Element list: G1  
Scale: 1:75,89  
Deformation magnification: 20,00  
2D Stress, Von Mises  
Stresses are at MIDDLE of element  
Output axis: global  
150,0 N/mm<sup>2</sup>  
128,6 N/mm<sup>2</sup>  
107,1 N/mm<sup>2</sup>  
85,71 N/mm<sup>2</sup>  
64,29 N/mm<sup>2</sup>  
42,86 N/mm<sup>2</sup>  
21,43 N/mm<sup>2</sup>  
0,0 N/mm<sup>2</sup>  
Case: A5 : Analysis Case 5

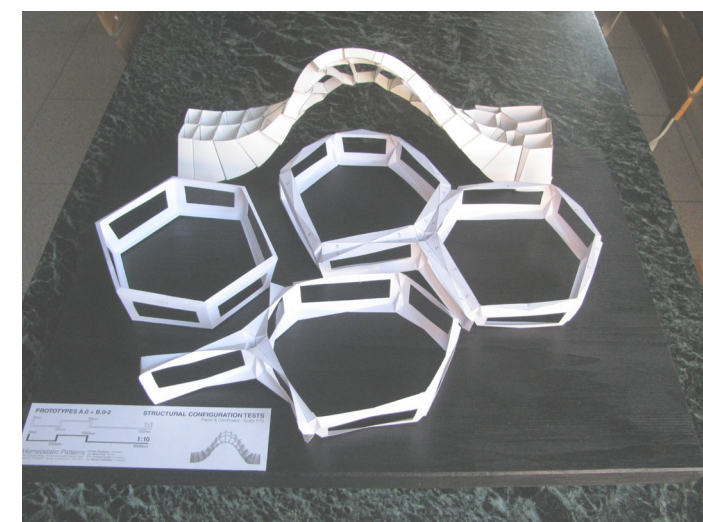
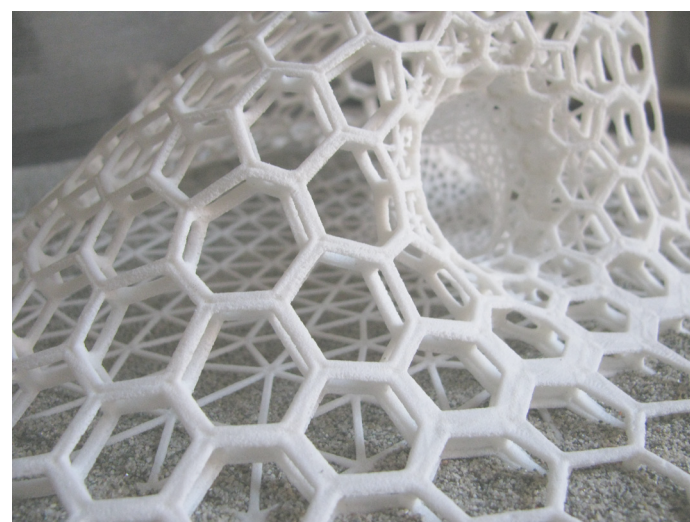
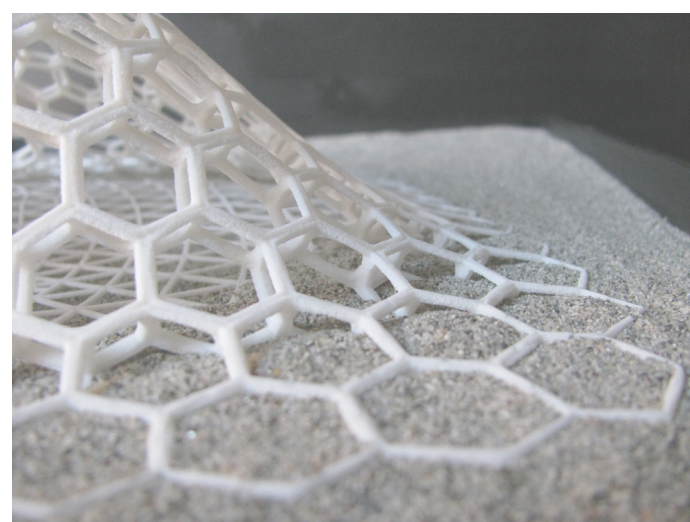
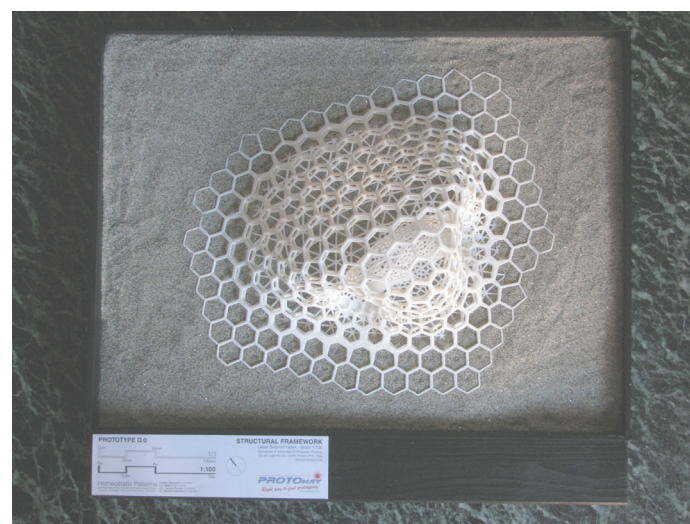


### 2.5.3\_PROTOTIPI

Per meglio comprendere il comportamento reale di un sistema strutturale così complesso, il ragionamento parametrico digitale è stato portato avanti affiancando ai risultati, ricavati di volta in volta dalle simulazioni, la costruzione di modelli fisici. In particolare la struttura del componente è sempre stata prototipata per ogni step caratterizzato da una evoluzione della forma.

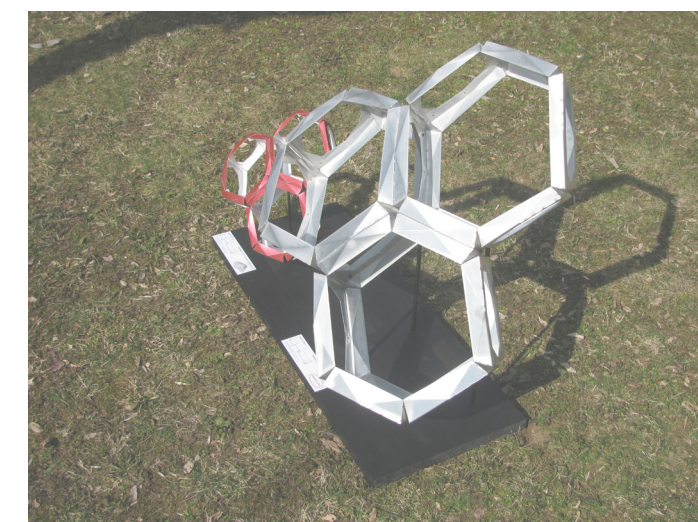
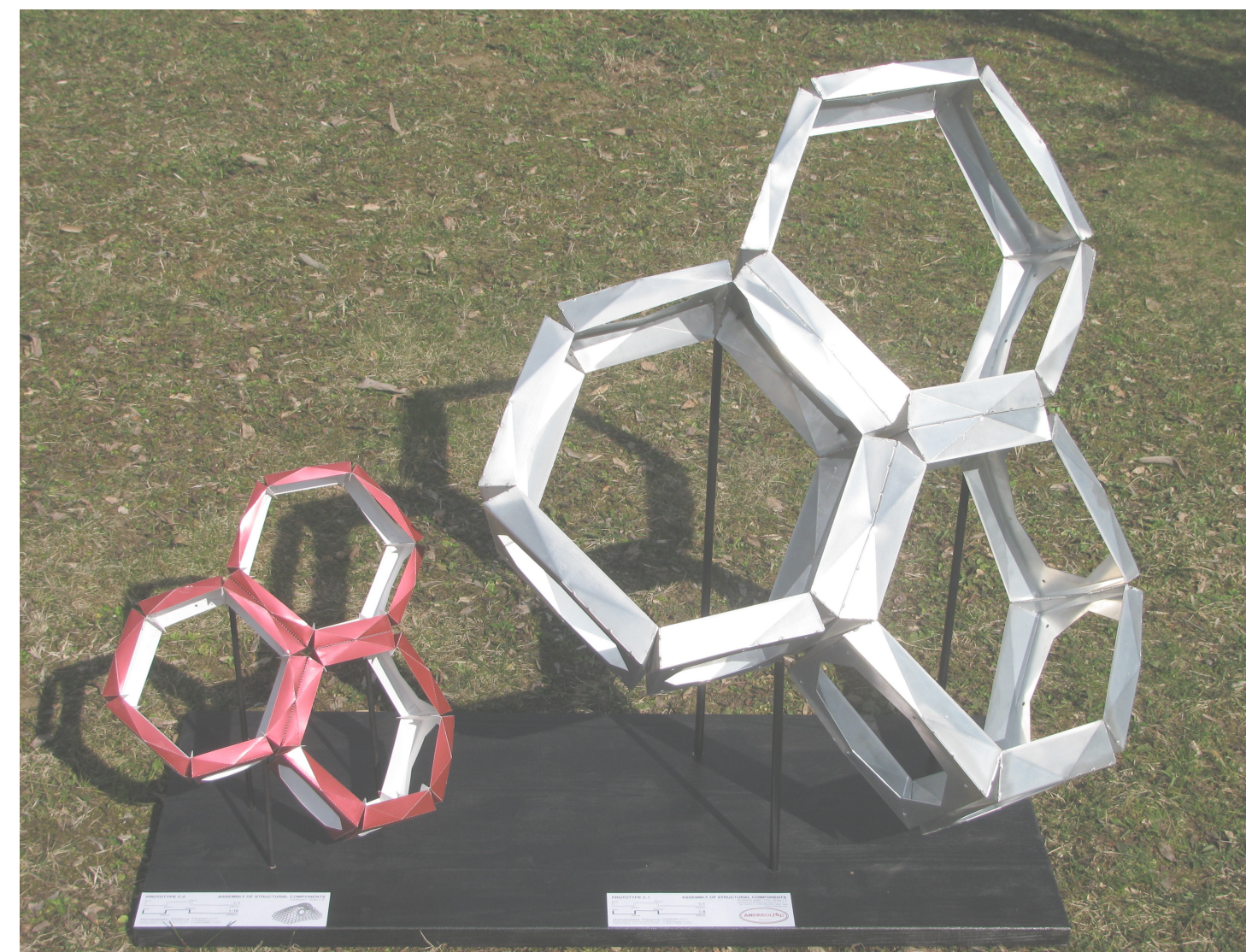
Della configurazione finale è stato anche realizzato un prototipo in scala 1:5 in lega di alluminio-magnesio molto utile per capire le debolezze e i punti di forza della configurazione geometrica come del processo di produzione.

Un prototipo in Nylon sinterizzato è stato realizzato per avere conferma di come la ridondanza strutturale giochi un ruolo fondamentale nell'aumento di resistenza dell'intero sistema strutturale.



2.60\_\_Prototipi in carta. Scale varie

2.61\_\_Prototipo in Nylon sinterizzato. Scala 1:100



2.62\_\_Prototipi in cartoncino (Scala 1:10) e in lamiera di alluminio (Scala 1:5, spessore 1 mm)



### 3\_CONCLUSIONI

Il progetto parte dando per scontata un quella di considerare l'architettura nella sua accezione più ampia come processo di organizzazione della materia atta a ottenere differenziazione dell'ambiente per creare specificità. L'artefatto in effetti dovrebbe avere come obiettivo ultimo proprio la generazione di un abitat il più adatto possibile per l'uomo e per le sue attività attraverso la trasformazione e la catalizzazione della realtà, intesa come sistema aperto complesso che in ogni suo punto e in ogni momento è permeato da una configurazione non equilibrata di materia ed energia. Questa osservazione e la constatazione che viviamo in un'ambiente permanentemente sollecitato da scambi di materia ed energia, hanno portato alla ricerca di un possibile processo di progettazione che fosse, con una sua intrinseca coerenza, fortemente integrato negli ecosistemi con cui interagisce.

*Bettum and Hensel 1999: contrary to heralding architecture's complete liberation from its material substrate ... an architecture of composite conditions can best be understood as based on material limitations and resistances. As with the highly ordered and complex cytoplasmic organization of plasma cell in a cellular envelope, an architectural surface is a graded, permeable structure that can act as a selective barrier. If it is differentiated, the surface performs special functions in relationship to motile forces and informational flows that were exerted upon it. Furthermore the complex organization of simple cellular organisms provides an example of how the performative in architecture could be seen in conjunction with its formal components, first of all geometry and structure ... by closely engaging with the material variables. (Hensel, Menges, Weinstock, 2010)*

Contrariamente alla proclamazione della completa liberazione dell'architettura dal suo substrato materiale ... un'architettura delle condizioni composite può essere meglio compresa in quanto basata su limitazioni e resistenze materiali. Così come la complessa ed estremamente ordinata organizzazione citoplasmatica delle cellule del plasma in una membrana cellulare, una superficie architettonica è una struttura permeabile, con un gradiente, in grado di funzionare come una barriera selettiva. Se essa è differenziata, la superficie esegue speciali funzioni in relazione alle forze mobili e ai flussi informativi che sono esercitati su di essa. Inoltre l'organizzazione complessa di semplici organismi cellulari fornisce un esempio di come il performativo in architettura dovrebbe essere visto in congiunzione con i suoi componenti formali, prima di tutto geometria e struttura ... attraverso uno stretto contatto con le variabili materiali.



2.63\_Ipotesi di aggiunta di pigmenti fotoluminescenti alla composizione chimica del materiale degli ombregiatori per integrare accumulo e rilascio di energia luminosa durante le ore notturne riducendo l'apporto esterno di energia ed aumentando l'efficienza dell'organismo architettonico



# RIFERIMENTI

## BIBLIOGRAFIA

Michael Hensel, Achim Menges, Michael Weinstock, Emergent Technologies and Design, Routledge, 2010.

Lisa Iwamoto, Digital Fabrications, Architectural and Material Techniques, Princeton Architectural Press (Architecture Briefs), 2009.

David Littlefield, Space Craft: developments in architectural computing, RIBA Publishing, 2008. ISBN 9781859462928

Ingrid Paoletti, Innovative design and construction technologies, Milano, Maggioli Editore (Politecnica), 2009.

Helmut Pottmann, Andreas Asperl, Michael Hofer, Axel Kilian, Architectural Geometry, Bentley Institute Press, 2007.

Peter Pearce, Structure in Nature is a Strategy for Design, The MIT Press, 1980.

Jesse Reiser and Nanako Umemoto, Atlas of novel tectonics, Princeton Architectural Press, 2006.

Darcy Wentworth Thompson, On Growth and Form, the complete revised edition, Dover, 1992. Dover reprint of 1942 2nd edition (1st ed., 1917).

Steven Johnson, Emergence: The Connected Lives of Ants, Brains, Cities, and Software, Scribner, 2002.

Manuel De Landa, Mille anni di storia nonlineare, rocce, germi e parole, Instar, Torino, 2003.

Andrew Payne and Rajaa Issa, Grasshopper Primer, 2009.

Mohamad Khabazi, Algorithmic modeling with Grasshopper, 2009

Rajaa Issa, Essential Mathematics for computational design, 2009

Enrico Trezzi, Tempi storici, tempi biologici, Roma, Donzelli Editore, 2001

## PUBBLICAZIONI

A. Erioli, Processing Nature, Id&cT09 proceedings, Maggioli editore, Milano, 2009.

P. W. Anderson, More Is Different, Science, New Series, Vol.177, No. 4047, 1972, pp. 393-396

Co-de-iT (Alessio Erioli, Andrea Graziano), In[form]ation, various places, 2009-2010.

Otto Frei, IL3 Biology and Building Part 1, IL University of Stuttgart, 27, Stuttgart, 1971, pp.7-8.

M. Hensel, Performance-oriented Architecture - Towards a Biological Paradigm for Architectural Design and the Built Environment, Wiley, Architectural Design, 76, 2, March/April 2006, pp. 60–69.

M. Hensel, A. Menges, Differentiation and performance: multi-performance architectures and modulated environments, 2010©FORMakademisk, Vol.3 Nr.1 2010, pp. 36–56.

Christina Dumpioti, Intensive and Extensive differences, SgArticles, SmartGeometry, 2011.

A. W. Stocking, Generative Design Is Changing the Face of Architecture, Cadalyst, Building design article, 2009.

H. Pottmann, Y. Liu, J. Wallner, A. Bobenko, W. Wang, Geometry of multi-layer freeform structures for architecture. ACM Trans. Graphics 26, 3, #65. Proc. SIGGRAPH, 2007, pp. 1–11.

H. Pottmann, S. Brell-Cokcan, J. Wallner, Discrete surfaces for architectural design. In Curves and Surface Design: Avignon 2006. Nashboro Press, 213–234.

H. Pottmann, A. Kilian, M. Hofer, Advances in Architectural Geometry. Proceedings of the Conference in Vienna, Eds. 2008. AAG 2008 September. pp.13–16.

P. Alliez, E. Colin De Verdière, O. Devillers, M. Isenburg, Centroidal Voronoi diagrams for isotropic surface remeshing. Graphical Models 67, 2005. pp 204–231.

## LINKS

<http://www.co-de-it.com/>  
<http://www.grasshopper3d.com>  
<http://www.food4rhino.com/>  
<http://designreform.net/learning/grasshopper>  
<http://wiki.mcneel.com/labs/pointsetreconstruction>  
[http://issuu.com/gwyll/docs/bend\\_workshopmanual/29](http://issuu.com/gwyll/docs/bend_workshopmanual/29)

<http://spacesymmetrystructure.wordpress.com/>  
<http://geometrygym.blogspot.com/>  
<http://utos.blogspot.com/>  
<http://matsysdesign.com/>  
<http://theverymany.com/>  
<http://smartgeometry.org/>  
<http://icd.uni-stuttgart.de/?p=6105>

<http://www.donatigroup.com/>  
<http://www.cncitalia.net/>  
<http://www.andreolisrl.com/>  
<http://www.evotekengineering.it/>  
<http://www.protoway.com/>  
<http://www.shapeways.com/>

<http://www.3d-dreaming.com/>  
<http://www.performanceorienteddesign.net>  
<http://theprovingground.wikidot.com/start>  
<http://grimshaw-architects.com/project/the-eden-project-the-biomes/>  
<http://www.achimmenges.net/?p=4405>  
<http://www.marco-verde.blogspot.com/2009/11/research-files.html>

<http://ahdictionary.com/>  
<http://it.wikipedia.org/>  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Lynn\\_Margulis](http://en.wikipedia.org/wiki/Lynn_Margulis)  
<http://www.futureearth.com.au/science/patterns-exist-everywhere/>  
<http://wiki.naturalfrequency.com/>  
<http://www.darwinthenandnow.com/2011/11/lynn-margulis-controversial-evolutionist-remembered/>

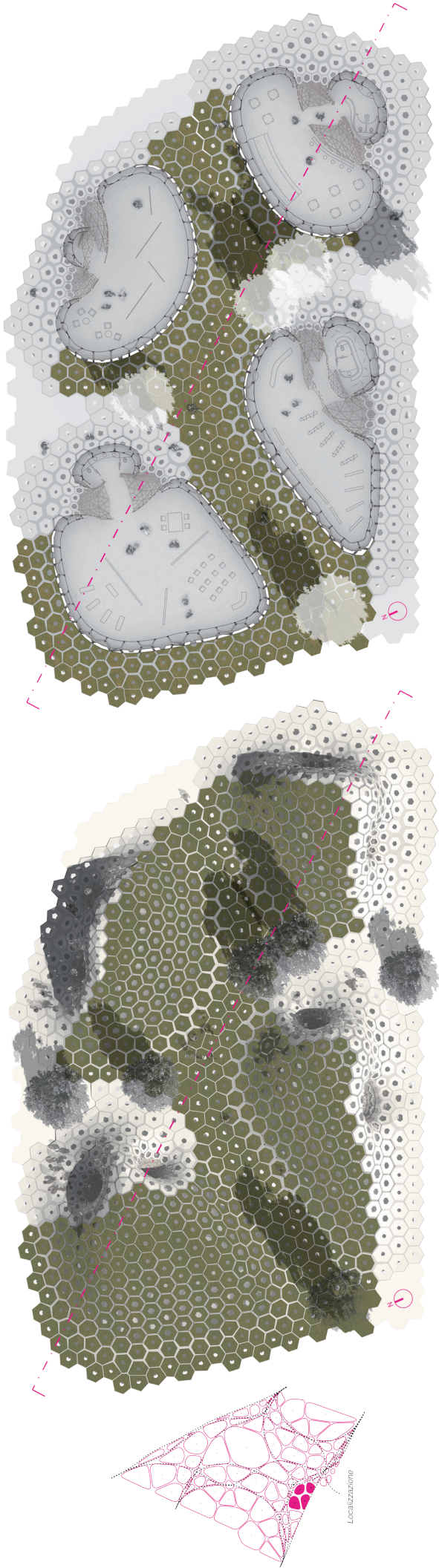
[http://www.ted.com/talks/robert\\_full\\_learning\\_from\\_the\\_gecko\\_s\\_tail.html](http://www.ted.com/talks/robert_full_learning_from_the_gecko_s_tail.html)  
[http://www.ted.com/talks/janine\\_benyus\\_shares\\_nature\\_s\\_designs.html](http://www.ted.com/talks/janine_benyus_shares_nature_s_designs.html)  
[http://www.ted.com/talks/peter\\_diamandis\\_abundance\\_is\\_our\\_future.html](http://www.ted.com/talks/peter_diamandis_abundance_is_our_future.html)  
[http://smartgeometry.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=146&Itemid=151](http://smartgeometry.org/index.php?option=com_content&view=article&id=146&Itemid=151)

[http://www.comune.bologna.it/quartiereporto/bilancio-sociale/docs/bsq\\_PORTO.pdf](http://www.comune.bologna.it/quartiereporto/bilancio-sociale/docs/bsq_PORTO.pdf)  
<http://informa.comune.bologna.it/iperbole/psc/documenti/850/>  
<http://informa.comune.bologna.it/iperbole/psc/citta/2079/1113/1978>  
[http://informa.comune.bologna.it/iperbole/media/files/copertura\\_vegetale\\_del\\_territorio\\_comunale.pdf](http://informa.comune.bologna.it/iperbole/media/files/copertura_vegetale_del_territorio_comunale.pdf)  
<http://www.arpa.vda.it/index.cfm?ambiente=1,43,104,0>  
[http://www.comune.bologna.it/media/files/nuovo\\_regolamento\\_per\\_la\\_prevenzione\\_e\\_il\\_controllo\\_dell'inquinamento\\_acustico\\_prodotto\\_da\\_sorgenti\\_rumorose\\_fisse\\_o\\_correlate\\_a\\_servizi.pdf](http://www.comune.bologna.it/media/files/nuovo_regolamento_per_la_prevenzione_e_il_controllo_dell'inquinamento_acustico_prodotto_da_sorgenti_rumorose_fisse_o_correlate_a_servizi.pdf)







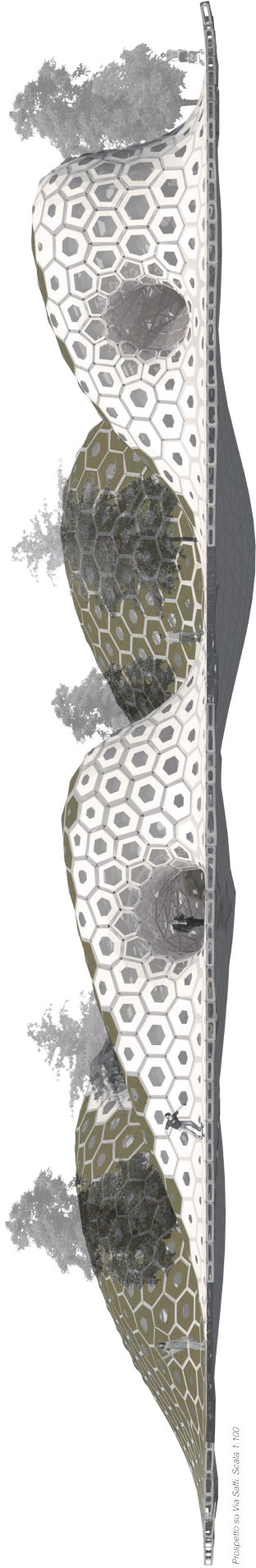


Planivolumetrico. Scala 1:200

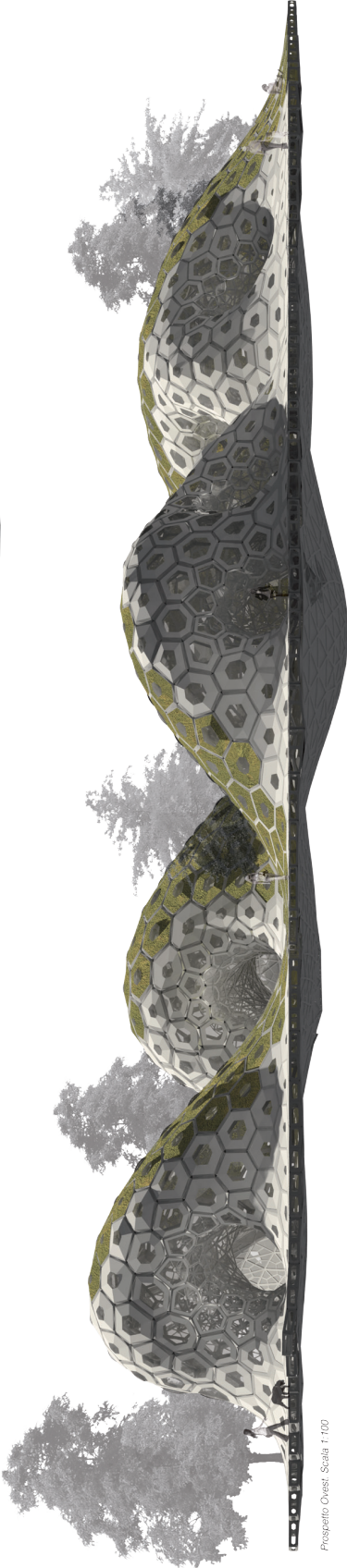
Planivolumetrico. Scala 1:200



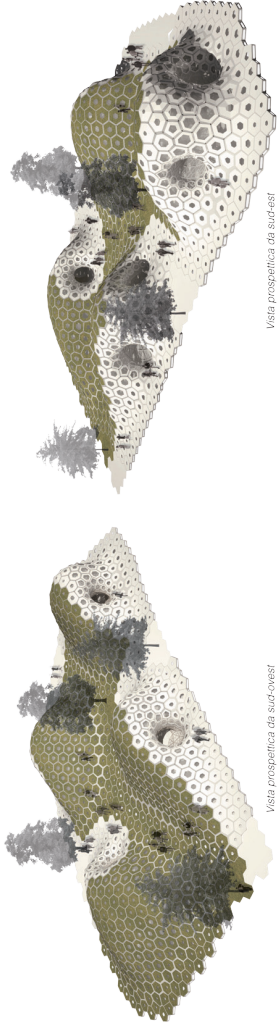
Sezione AA. Scala 1:100



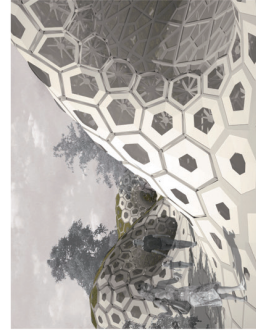
Prospetto su Via Saffi. Scala 1:100



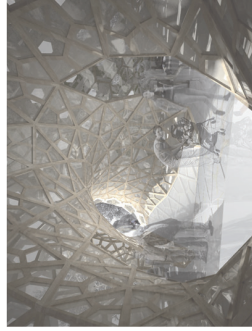
Prospetto Ovest. Scala 1:100



Vista prospettica da sud-ovest



Vista prospettica

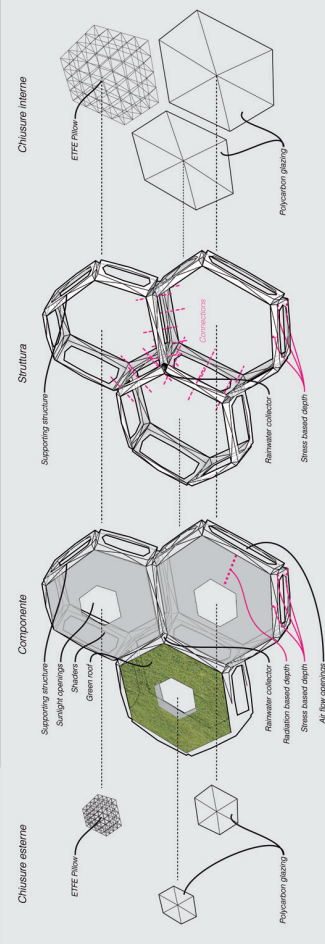


Vista prospettica

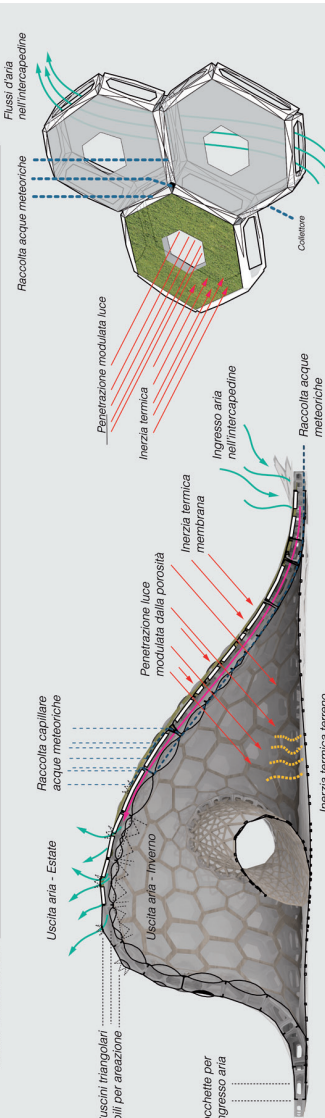


Vista prospettica

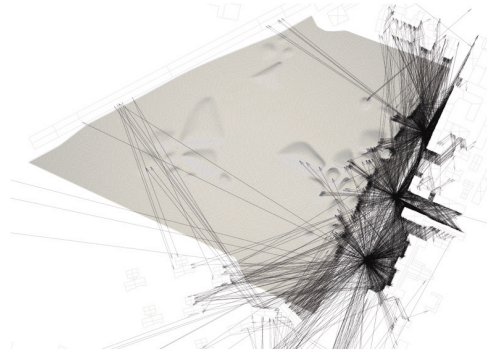
#### ASSEMBLAGGIO COMPONENTI



#### MULTIPERFORMANCE

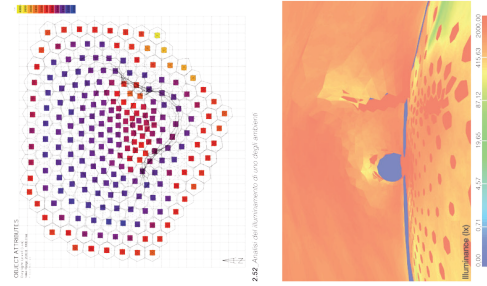


#### PERFORMANCE ACUSTICA



2.39 Analisi acustica eseguita con Autodesk Ecotect

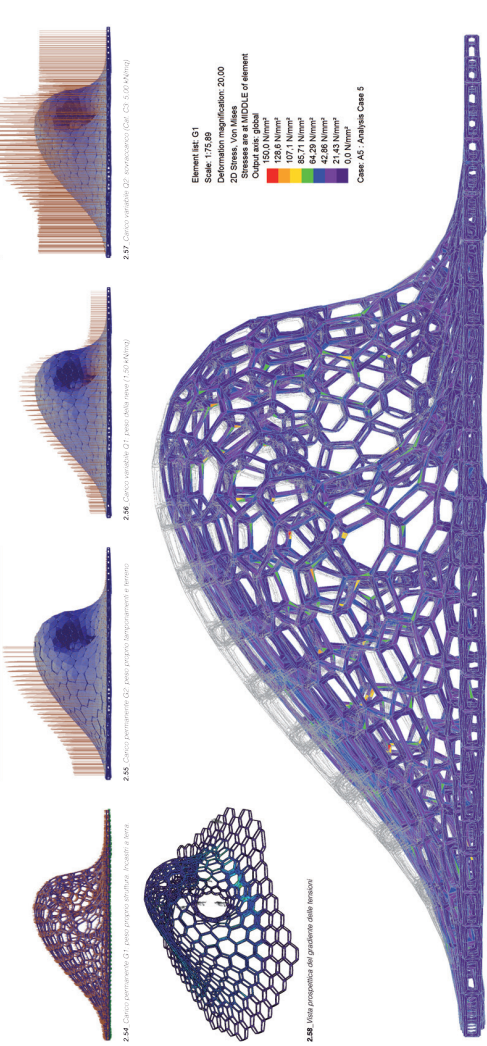
#### PERFORMANCE ILLUMINAMENTO



2.52 Analisi del illuminamento a zona degli interni

2.53 Analisi del illuminamento a zona degli esterni

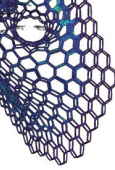
#### PERFORMANCE STRUTTURA



2.54 Carico permanente G1: zona proprio strutturale. Analisi a zona

2.55 Carico permanente G2: zona proprio temperature in inverno

2.57 Carico variabile G2: movimento G2: 3.00 N/mm²



2.58 Vista prospettica dal giardino delle sculture

2.59 Analisi acustica eseguita con Autodesk Ecotect

2.53 Analisi del illuminamento a zona degli esterni

2.59 Macerata dalla sezione degli interni estratta con il software di Revit. Macerata dalla sezione di sezione più alta